

## Vortragssitzungen der Fachausschüsse in Innsbruck

### VERBAND DEUTSCHER PHYSIKALISCHER GESELLSCHAFTEN

Im Rahmen des Physikertags in Innsbruck wurde eine größere Anzahl von Vortragssitzungen der Fachausschüsse des Verbandes Deutscher Physikalischer Gesellschaften abgehalten. Die von den Autoren verfaßten Vortragsreferate sind in den nachfolgenden Berichten zusammengestellt worden.

### AKUSTIK

Am 21. September 1953, nachmittags

Vorsitz: E. Meyer (Göttingen)

**F. Seidl (Wien):** Schwingungsformen eines hochfrequent schwingenden Glaszylinders, als Vorlesungsversuch (mit Demonstration).

Es werden die verschiedenen möglichen Schwingungsformen eines hochfrequent schwingenden Glaszylinders im linear polarisierten Licht demonstriert. Die optische Anordnung ist ähnlich jener wie sie von L. Bergmann verwendet wurde, der erstmalig Untersuchungen an schwingenden Glaszylindern anstellte und auf die große Mannigfaltigkeit der verschiedenen Eigenschwingungen eines Zylinders aufmerksam machte.

Zur Demonstration wird ein Zylinder aus optischem Glas verwendet, der piezoelektrisch mit einer Frequenz von 3 MHz zum Schwingen angeregt wird. Überall dort, wo eine elastische Doppelbrechung im Glas auftritt, wird zwischen gekreuzten Nicols eine Aufhellung bewirkt.

Dieser Versuch kann für Vorlesungszwecke bestens empfohlen werden.

**A. Schoch** (Heidelberg): Akustische Größen zweiter Ordnung und die mit ihnen zusammenhängenden Effekte.

In den letzten Jahren haben die Erscheinungen, die auf der Nicht-Linearität der Differentialgleichungen der Schallausbreitung beruhen, ein steigendes Interesse gefunden. Zu ihnen gehören: Die Verzerrung der Wellenform bei der Ausbreitung, der Strahlungsdruck und der „Schallwind“. Über den Stand der Theorie dieser Erscheinungen wird berichtet.

**W. Willms** (Haltingen): Zum Begriff der Schallimpedanz.

Im Vortrag wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, den Impedanzbegriff aus dem Schallfeld zu entwickeln und ihn nicht einfach auf Grund von Analogiebetrachtungen von den Elementen des elektrischen Stromkreises oder aus dem elektromagnetischen Feld zu übernehmen. Akustische und mechanische Elemente unterscheiden sich von den entsprechenden elektrischen Elementen durch ihre Übertragungseigenschaften. Es besteht Ähnlichkeit in den Darstellungsmethoden der beiden Gebiete aber nicht elementweise Entsprechung.

Es wurden ein Schalladmittanzvektor  $y = v/p$  und ein Intensitätsvektor  $J = \frac{1}{2}pv$  eingeführt, aus denen die spezifische akustische Admittanz und Impedanz, die Wandimpedanz und mit Hilfe eines Energiethorems die Antriebsimpedanz eines akustischen Systems bestimmt werden können. Es ist nicht statthaft, neben dem Schalladmittanzvektor noch einen Impedanzvektor einzuführen, wenn Impedanz und Admittanz in jeder beliebigen Richtung reziprok zueinander sein sollen. Die energetischen Definitionen haben den Vorzug, daß sie unter Benützung eines quadratischen Flächenmitttelwertes nicht die Konstanz des Druckes oder der Schnelle auf der Fläche voraussetzen müssen. An dem Beispiel eines akustischen und eines elektrischen Wellenleiters wurde das Gemeinsame und das Verschiedene der beiden Probleme gezeigt.

**W. Kallenbach** (Braunschweig): Anwendungen der Schallspektrographie bei akustischen Untersuchungen.

Es wird eine Anordnung zur Registrierung von Schallspektrogrammen beschrieben, die aus einem Magnettongerät, einem Suchtonanalysator und einem mit einer Braun'schen Röhre versehenen Schleifenoszillographen besteht. Auf dem Magnettongerät läuft die zu analysierende Bandschleife von etwa 2,5 sec Spieldauer synchron mit der Registriertrommel des Oszillographen. Auf dem Leuchtschirm des Braun'schen Rohres wird ein Leuchtpunkt erzeugt, der im Verlaufe der Analyse in Abhängigkeit von der Suchtonfrequenz quer über den Schirm wandert, wobei seine Helligkeit durch die Ausgangsspannung des Analysators moduliert wird. Mit Hilfe eines Objektivs wird der Punkt auf die mit photographischem Papier gespannte Registriertrommel abgebildet und so das Spektrogramm in eng aneinander liegenden Spiralen erzeugt. Die Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens werden an Hand von Beispielen aus der Phonetik, von Glockenklängen und technischen Geräuschen erläutert.

**W. Güttner** (Erlangen): Energieverteilung im menschlichen Gewebe bei der Ultraschall-Therapie.

Die in den wesentlichen Komponenten des menschlichen Körpers (Fett, Muskel, Knochen) auftretende US-Schwächung wird im Gebiet um 1 MHz angegeben und die daraus resultierende Energieverteilung berechnet. Die Zunahme der inneren Energie führt zu einer Temperaturerhöhung. Während alle Gewebearten weitgehend ähnliche Schwächungswerte und da-



mit Temperaturanstiege pro Zeiteinheit zeigen, liegen die entsprechenden Werte für Knochen eine Größenordnung höher. Hierin ist der wesentliche Unterschied zu anderen Therapiearten und die spezielle Bedeutung des US zu suchen.

**H. Machytka (Innsbruck):** Messung kleinster mechanischer Schwingungen bis zur Größenordnung von  $10^{-6}$  cm im Frequenzbereich bis  $10^5$  Hz.

Zur Amplitudenmessung an Magnetostriktionsschwingern wurde eine Vorrichtung gebaut, welche sich ebenfalls zur Messung kleinster mechanischer Schwingungen an Maschinen u. dgl. eignet. Die Vorrichtung ist sowohl gegen elektrische als auch magnetische Felder unempfindlich und belastet den schwingenden Körper in vernachlässigbaren Grenzen. Die Meßvorrichtung wurde nach dem Prinzip eines Kondensatormikrophons aufgebaut, wobei zur Vermeidung von Koppelschwierigkeiten die Membrane eines solchen Mikrophons direkt durch den zu messenden schwingenden Körper ersetzt wurde. Die theoretische Behandlung dieser Kapazitäts-Sonde führt die auftretenden Probleme an und zeigt den Weg, wie durch geeignete Wahl sowohl der mechanischen als auch der elektrischen Größen zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden können. Die Eichung der Kapazitäts-Sonde erfolgte direkt mit einer Stimmgabel, deren Amplitude mit einem Mikroskop genau bestimmt wurde. Die berechneten Eichwerte decken sich gut mit den Meßwerten. Ein angeschlossener Oszillograph zeigt die vorhandene Kurvenform, und so kann die Vorrichtung auch zur Analyse mechanischer Schwingungen herangezogen werden.

## GASENTLADUNG

I. Am 23. September 1953, nachmittags

Vorsitz: P. Schulz (Karlsruhe)

**O. Loh** (Köln-Bayental): Die Lichtbogenarbeit beim Abschalten eines Wechselstromkreises.

In der bekannten Spannungsgleichung eines Wechselstromkreises wird die Lichtbogenspannung mit berücksichtigt. Die Kapazitäten des Stromkreises werden vernachlässigt und der Einschwingvorgang des lichtbogenfreien Wechselstromkreises als abgeklungen betrachtet. Die Strom- und Spannungskurve dieses Wechselstromkreises sei frei von Oberwellen. In die Spannungsgleichung des Wechselstromkreises wird die Lichtbogenspannung in Form der stromunabhängigen Glieder der Ayrton'schen Gleichung eingeführt. Hierbei wird einmal die Lichtbogenlänge als konstant angesehen, während anschließend die gleiche Differentialgleichung unter der Annahme einer von Null an zeitproportionalen Zunahme der Lichtbogenlänge aufgestellt wird. Der erste Fall entspricht z. B. einem Stehfeuer bei geöffnetem Schaltgerät, während der zweite annähernd den normalen Abschaltvorgang beschreibt. Aus dem bestimmten Integral über das Produkt aus Strom, Lichtbogenspannung und Zeitdauer des Lichtbogens wird die Lichtbogenarbeit, welche mit der Schaltarbeit identisch ist, für eine Halbwelle errechnet. Es wird die Lichtbogenarbeit bei verschiedenen Schaltstückmaterialien miteinander verglichen. Bei  $n$ -fach-Unterbrechung ergibt sich mit zunehmender Zahl von Unterbrecherstellen eine Abnahme der Lichtbogenarbeit je Unterbrecherstelle.

Zur Vereinfachung der errechneten Formeln bei Lichtbögen zunehmender Länge werden die für Lichtbögen konstanter Länge durch Einführen von  $l = v \cdot t$  für Lichtbögen zunehmender Länge erweitert und diese Endgleichungen an Hand von 50 Oszillogrammen geprüft. Es ergibt sich eine im Rahmen der Meßgenauigkeit zufriedenstellende Übereinstimmung der errechneten mit den gemessenen Werten.

**G. Glaser** (Schromberg): Über die Erzeugung kurzer Funkenentladungen mit hoher Impulsleistung.

Die elektrische Entladung eines Kondensators über eine Funkenstrecke hängt sowohl von den Parametern des Entladungskreises (Kapazität, Spannung, Induktivität, Widerstand), als auch von den Parametern der Funkenstrecke (Gasart, Gasdruck, Elektrodenabstand, Entladungsquerschnitt, Funkentemperatur) ab. Der Funkenwiderstand  $R_f$  hängt dabei wesentlich von der Ausdehnung des Funkenkanals ab und nimmt von einem hohen Anfangswert bis zu einem minimalen Wert  $R_{fmin}$  ab. Daher ist die Entladung anfangs aperiodisch und geht dann in die periodische Entladung über, sobald der Gesamtwiderstand  $R$  (Summe aus Funkenwiderstand und den äußeren Widerständen) gleich  $2\sqrt{L/C}$  wird. Die Bedingungen für die Erreichung kurzer Entladungen mit möglichst hoher Leistung sind:

Hohe Spannung  $U_0$ , möglichst kleine Induktivität  $L$ , möglichst kleiner äußerer Widerstand und ein Funkenwiderstand, der eine nahezu aperiodisch gedämpfte Schwingung ergibt.

Aufgrund der experimentellen Ergebnisse werden Näherungen für Strom, Spannung und Leistung im Funken angegeben, die an einigen Beispielen besprochen werden.



Für die maximale Funkenleistung ergibt sich daraus in erster Näherung

$$N_{\max} = \frac{R_{t\min} \cdot CU_0^2}{\alpha^2 \cdot L} \cdot \exp\left(-R \sqrt{\frac{C}{L} \cdot \frac{\pi}{2\alpha}}\right),$$

wobei  $\alpha = \sqrt{1 - R^2 C / 4L}$ . Für möglichst große Leistung soll  $R_t$  möglichst gleich  $R$  sein und  $R\sqrt{C/L}$  etwa gleich 1.

**H. Fetz** (Würzburg): Experimentelle Untersuchungen zur physikalischen Bedeutung des zweiten Townsend'schen Ionisierungskoeffizienten (T.I.K.).

Während der erste T.I.K. eindeutig der Trägervermehrung durch Elektronenstoß zugeordnet ist, können zum zweiten T.I.K. mindestens vier verschiedene Arten der Trägervermehrung beitragen: Nämlich Photoeffekt im Gas und an der Kathode, Ionenstoß gegen Gasmolekel und gegen die Kathode.

Mit relativ geringem experimentellen Aufwand gelingt es, die photoelektrische Wirksamkeit des von einer Townsend'schen Entladung zwischen konzentrischen Zylindern emittierten Lichtes zu untersuchen. Von Interesse ist dabei vor allem die Druckabhängigkeit der Emission, welche sich bei edlen und zweiatomigen Gasen als von sehr unterschiedlichem Charakter erweist. Es interessiert ferner die Absorbierbarkeit des ultravioletten Entladungslichtes durch das Entladungsgas selbst und durch geringe Beimengungen insbesondere organischer Moleküle (Eigen- und Fremdb absorption).

Erhebliche Schwierigkeiten ergeben sich, wenn man versucht, die elektronenauslösende Wirkung von Ionen im Gas und an der Kathodenoberfläche allein zu messen. Als Ionenquelle diene wieder eine Townsend'sche Entladung zwischen konzentrischen Zylindern. Die erzeugten Ionen treten durch Schlitze aus dem äußeren Kathodenzyylinder aus und gelangen in den Meßraum. Eine besonders weitgehende Ausschaltung des dabei störenden photoelektrischen Effektes gelingt durch Anwendung eines Impulsverfahrens, wobei von der endlichen Laufzeit der Ionen Gebrauch gemacht wird.

Bei allen untersuchten Gasfüllungen ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$  und Ar.) wurde Elektronenauslösung durch Ionenstöße im Gas beobachtet, sobald der Energiegewinn pro freie Weglänge den Betrag von einigen eV erreichte. Energie- und Impulssatz bleiben dabei gewahrt, da die Elektronenerzeugung durch die Ionen bewirkt wird, welche eine größere Anzahl von mittleren freien Weglängen durchfallen haben. (Der ionisierende Stoß kann auch neutral, im Anschluß an eine Umladung erfolgen.)

Eine merkbliche elektronenauslösende Wirkung durch Ionen (Energie  $\sim 1$  eV) beim Stoß gegen eine Wand wurde nur mit Ar- und  $N_2$ -Ionen festgestellt. An mit  $H_2$  reduzierten Metalloberflächen wurden dabei Ausbeuten von etwa 1 % erzielt. An mit  $O_2$  beladenen Metalloberflächen wurden um einige Zehnerpotenzen kleinere Ausbeuten beobachtet. Mit  $H_2$ - und  $O_2$ -Ionen müssen die Ausbeuten etwa  $10^{-6}$  oder noch kleiner sein, sodaß sie sich der Beobachtung entziehen.

**H. Raether** (Hamburg): Zum Aufbau von Gasentladungen.

Erreicht in einer Elektronenlawine das Feld der Ladungen am Lawinenkopf merkliche Werte verglichen mit dem angelegten Feld, so setzt Kanalaufbau ein (große p-d-Werte und statische Spannung). Die Aufbauzeiten haben die Größenordnung der Lawinenlaufzeit. Ist das Feld der Ladungen am Lawinenkopf vernachlässigbar, so geht im allgemeinen der Aufbau in Ionisierungsspielen vor sich (kleine p-d-Werte). Die Aufbauzeiten liegen



im allgemeinen in der Größenordnung der Ionenlaufzeit. Von Gänger und Fisher wurden neuerdings Aufbauzeiten im Gebiet mittlerer ( $p \cdot d$ )-Werte (einige 100 Torr · cm) gemessen, die zwischen den oben genannten Werten liegen. Die Diskussion ihrer Ergebnisse zeigt, daß sie mit Hilfe eines Mehrlawinen-Kanalaufbaues erklärt werden können.

**W. Weizel und Chr. Meyer (Bonn):** Der zeitliche Ablauf der negativen Gleitentladung. (Vorgetragen von W. Weizel.)

Aus zahlreichen Photographien negativer Gleitentladungen unter verschiedenen Bedingungen werden zunächst die charakteristischen Strukturelemente der Primärfigur herausgeschält. Die Eigenschaften der einzelnen Leuchtfäden können theoretisch aus den in ihnen herrschenden lokalen Feldverhältnissen verstanden werden. Die gleichen Gesichtspunkte lassen sich auch auf die Struktur der sekundären und tertiären Stadien der Gleitentladung anwenden und machen deren Struktur verständlich. Auf diese Weise kann am voll entwickelten Bild der negativen Gleitentladung deren zeitlicher Ablauf aus den Detailstrukturen des Entladungsbildes abgelesen werden.

**G. Busz und W. Finkelnburg (Erlangen):** Über die Eigenschaften von Hochstrombögen zwischen nichtverdampfenden Metallelektroden in Argon und anderen Gasen. (Vorgetragen von W. Finkelnburg.)

Es wird ein zwischen nicht-verdampfenden, gekühlten Metallelektroden in Argon und anderen Gasen bei Atmosphärendruck und Stromstärken zwischen 20 und 500 A frei brennender Hochstrombogen sehr hoher Temperatur und extrem kleiner Brennspannung beschrieben. Beim Argon-Hochstrombogen z. B. liegt die bei 0,5 mm Bogenlänge und 165 A gemessene kleinste Brennspannung mit 7,5 V noch weit unter der ersten Anregungsspannung des Trägergases, während sich aus der radialen Intensitätsverteilung der vom Bogen emittierten Linien des A, A<sup>+</sup> und A<sup>++</sup> (beim Stickstoffbogen wurde sogar eine N<sup>+++</sup>-Emission beobachtet) eine maximale Achsentemperatur von etwa 30 000 °K abschätzen läßt. Bei dieser Temperatur besteht das Plasma zu 65 % aus Elektronen und zu 30 % aus doppelt ionisierten Argon-Ionen, während einfach ionisiertes Argon mit 4,5 % und dreifach ionisiertes Argon mit etwa 0,5 % im Plasma vertreten sind. Es wird gezeigt, daß es sich bei dieser Bogenform um den Idealfall eines thermischen Bogens handeln muß.

**W. Rieder (Wien):** Messungen an vertikal frei in Luft brennenden Gleichstromlichtbögen zwischen Metallelektroden bei Strömen bis 50 A.

Die theoretische Durchrechnung konvektionsstabilisierter Luftbögen führt heute noch nicht zu quantitativ befriedigenden Resultaten. Genaue Angaben müssen unmittelbar dem Experiment entnommen werden. Dabei ergeben sich unter den angegebenen Bedingungen folgende Zusammenhänge zwischen Bogenspannung  $U_B$ , Stromstärke  $i$  und Bogenlänge  $l$ :

$$U_B = a + (\beta + 1) \cdot E_h \quad \text{für } l > 3 \text{ cm}$$

$E_h = \gamma \cdot (\ln \delta i)^{-k}$  ist die elektrische Feldstärke im zylinder-symmetrischen Teil der Bogensäule, der nicht mehr durch die Elektroden beeinflusst wird. Für  $l < 3$  cm ergeben sich etwas kompliziertere Formeln.

Kalorimetermessungen zeigen, daß die von den Elektroden je sec aufgenommene Wärmemenge für  $l < 1$  cm stark mit der Bogenlänge ansteigt. Für lange Bögen ist sie gleich der an den Elektroden zusätzlich umgesetzten



Leistung  $i(\alpha + \beta E_h)$ . Diese Übereinstimmung, sowie die Abhängigkeit der Bogenspannung und der Elektrodenwärme von der Bogenlänge legen es nahe, das axiale Temperaturgefälle der Säule in Elektrodennähe zur Deutung des Spannungsverlaufes wie auch der Wärmebilanz der Elektroden heranzuziehen.

**P. Müller** (Köln-Bayental): Untersuchung des Entladungsmechanismus und der Nachentladungserscheinungen in Geiger-Müller-Zählrohren mit Hilfe von Röntgenimpulsen.

Es wird eine knappe Darstellung der bekannten Tatsachen vom Entladungsmechanismus in Zählrohren gegeben. Hiervon ausgehend werden die Vorteile der verwendeten Methodik dargelegt. Die Röntgenimpuls-Apparatur wird kurz beschrieben. Auf ihre Einsatzmöglichkeit zum Studium anderer, auch nicht physikalischer Fragen wird hingewiesen.

Als neues Ergebnis wird an Oszillographenaufnahmen und Diagrammen demonstriert, daß die Totzeit von Zählrohren auch von der Stärke des ionisierenden Ereignisses abhängig ist. Die meßtechnische Auswertung von Messungen der Nachentladungsverteilung in Abhängigkeit von Zählrohr-Spannung, Röntgenimpulsintensität und von der Eigenart der Zählrohr-füllung führt zu interessanten Hinweisen auf verschiedene deutlich unterscheidbare Ursachen von Nachentladungen.

Eine Näherungsrechnung bestätigt die aus den Versuchsergebnissen nahegelegte Vorstellung, daß die positive Ionenhülle bei ihrer Wanderung zur Kathode aufgrund der Feldänderung durch die eigene Raumladung auseinanderläuft. Sie liefert gleichzeitig Hinweise auf die Ursachen der bisher nicht zu deutenden Abhängigkeit der Größe des Ladungsimpulses von der Zählrohrspannung.

**M. J. Hightsberger** (Wien): Über eine neue Methode zur Sekundäremissionsbestimmung nach Ionenbombardement.

Untersuchungen der Sekundäremission aus Metallen durch Ionenbombardement nach der üblichen Oliphant-Methode [PROC. ROY. SOC. A 127, 373, 1930] ergaben voneinander beträchtlich abweichende Ergebnisse. Es wurde eine neue Auffängervorrichtung entwickelt, deren wesentlichen Bestandteil ein Plattenkondensator bildet, in den der Ionenstrahl unter  $45^\circ$  durch einen Schlitz eintritt. Durch geeignete Aufladung desselben kann eine vollständige Trennung primärer und sekundärer Ladungen erreicht werden [M. J. Hightsberger, Z. NATURFORSCH. 6a, 151, 1951 und 8a, 206, 1953]. Außerdem zeichnet sich dieses Auffängersystem durch weitgehende Unabhängigkeit gegen magnetische Störfelder aus und verhindert eine zusätzliche Sekundäremission durch ungeladene Teilchen. Neben der Bestimmung des Reflexionsfaktors für die primären Partikeln ist auch eine Trennung der sekundären Elektronen und negativen Ionen leicht möglich. Die Sekundäremission kann entlang des Targets kontinuierlich gemessen werden; dadurch lassen sich geringfügige Verunreinigungen an dessen Oberfläche feststellen. Vorläufige Messungen wurden mit den häufigsten einfach geladenen Edelgasisotopen an verschiedenem Targetmaterial ausgeführt. Auch Vergleichsergebnisse mit doppelt geladenen Ionen und einfachen Molekülonen liegen vor. Sämtliche Ionen sind durch Elektronenbombardement in einer Nier-Ionenröhre erzeugt und anschließend in einem  $60^\circ$ -Massenspektrometer [A. O. C. Nier, REV. SCI. INSTR. 18, 398, 1947] separiert. (Diese Arbeit wurde am Physics Department der Univ. von Minnesota, Minneapolis, Minn., ausgeführt.



**W. Schaaffs** (Berlin-Siemensstadt): Die Hochvakuum-Röntgenblitzröhre.

Anhand von Diapositiven wird der gegenwärtige Stand der Entwicklung und der Leistung von Hochvakuum-Röntgenblitzröhren für Spannungen zwischen 40 und 400 kV gezeigt. Für Grobstrukturuntersuchungen läßt sich die Güte einer Röhre aus praktischen Erwägungen heraus am besten durch das Durchstrahlungsvermögen eines einzelnen Röntgenblitzes für eine bestimmte Schichtdicke Eisen kennzeichnen. Es werden Kurven gezeigt, aus denen seine Abhängigkeit von Anfangsspannung, Fokusabstand, Entladungskapazität und Kathodenöffnung zu ersehen ist. Für den Bau von Röhren, die speziell der Untersuchung von Röntgenblitzinterferenzen dienen, ist weniger das Durchstrahlungsvermögen als vielmehr die Gesamtintensität einer charakteristischen Strahlungskomponente innerhalb des polychromatischen Röntgenblitzes maßgebend.

Neue Anwendungsgebiete für Röntgenblitzröhren sind folgende: (1) Bei der Durchstrahlung sehr hoch verdichteter flüssiger Materie wird die Röntgenblitzstrahlung stärker geschwächt, als es nach bisher bekannten Gesetzmäßigkeiten der durchstrahlten Masse entspricht. (2) Bei der Durchleuchtung des Lichtbogens eines Hochstromkontaktes werden Brückenbildungen, die offenbar aus konzentrierten Dampfstrahlen des Elektrodenmaterials bestehen und nur kurzzeitig auftreten, sichtbar.

**W. Schmalenberg** und **O. Schiele** (Berlin-Siemensstadt): Anodenrückstrom-Kennlinien und Stromkreisdaten als Maß für die Beurteilung von Quecksilberdampf-Stromrichtergeräten. (Vorgetragen von W. Schmalenberg.)

Der nach Erlöschen einer Anode auf diese einströmende Ionenstrom wurde unter Verwendung eines in der Anodenleitung liegenden Synchronschalters in bezug auf Höchstwert und Mittelwert untersucht. Er zeigt eine für die jeweilige Gefäßkonstruktion charakteristische Abhängigkeit von der Belastung und den Kühlbedingungen und ist im übrigen, wie erwartet, proportional der Abnahmegeschwindigkeit des Anodenstroms im Löschmoment.

Bei Grenzleistungsversuchen, die bis zum Eintreten einer Rückzündung betrieben wurden, deuten die Ergebnisse darauf hin, daß bei technologisch einwandfreien Gefäßen für die Auslösung einer Rückzündung das Überschreiten einer bestimmten kritischen Entionisierungsarbeit erforderlich ist, die dem Produkt aus der in die Anode strömenden Restladungsmenge und der an der Entladungsstrecke liegenden Sprungspannung proportional ist. Da sich Stromänderungsquerschnitt und Sprungspannung in Abhängigkeit von der verwendeten Transformatorschaltung, Kurzschlußspannung, Belastungsstromstärke und Zündverzögerung ermitteln lassen, kann aufgrund der für eine Stromrichteranlage berechneten Stromkreisdaten und des auf den Rückstrommessungen aufgebauten Gefäßtypenblattes für jeden stationären Belastungsfall die jeweils zu erwartende Gefäßgrenzleistung im voraus bestimmt werden.

## II. Am 24. September 1953, vormittags

Vorsitz: P. Schulz (Karlsruhe)

**R. Mannkopff** (Göttingen): Über Temperaturgleichgewicht und Strahlungsgleichgewicht in elektrischen Gasentladungen.

Der Ionisationsgrad der Elemente in freibrennenden Lichtbögen, der sich, wie aus früheren Arbeiten bekannt ist, im Spektrum der stigmatisch abgebildeten Bogensäule aus der Linienverstärkung vor der Kathode ablesen



läßt, erwies sich als in erster Näherung durch die Ionisierungsspannung bestimmt. Er ist um so niedriger, je höher diese ist. Deutliche Abweichungen zeigen die Elemente mit nur einem Außenelektron, wie die Alkalien, Cu oder Al. Die Anomalien lassen sich auch nicht durch Berücksichtigen der zweiten Ionisierungsspannung verstehen, wie an Zn und Au gezeigt wird, die trotz gleicher erster und zweiter Ionisierungsspannungen verschieden stark ionisiert sind. Berechnet man jedoch den Ionisationsgrad nach der Saha-Gleichung, so ergeben sich infolge der verschiedenen statistischen Gewichte der neutralen und ionisierten Zustände Ionisationsgrade, die für eine Reihe von Elementen mit der Beobachtung gut übereinstimmen.

Trotzdem ist zu vermuten, daß, wie eine Übersicht über die zur Ionisierung führenden Elementarprozesse zeigt, in geeigneten Druckbereichen das Temperaturgleichgewicht gestört und der Ionisationsgrad herabgesetzt wird, wenn im Bogen starke Seriengrenzkontinua emittiert werden und die Strahlung des Bogens im Gebiet dieser Kontinua nicht als schwarz betrachtet werden kann, d. h. nicht der Planck'schen Formel genügt.

**P. Gerthsen und P. Schulz** (Karlsruhe): Die Druckabhängigkeit der Resonanzverbreiterung im Hg-Hochdruckplasma. (Vorgetragen von P. Gerthsen.)

Es wurde die Breite der infraroten Linie  $1014 \text{ m}\mu$  ( $2^1\text{S}_0 - 2^1\text{P}_1$ ) in Abhängigkeit vom Druck in einer Quecksilberhochdruckentladung gemessen. Der Druckbereich war 6 bis 20 Atm. Die Stromstärke wurde von 6 bis 18 A variiert. Nach früheren Untersuchungen ist die Breite dieser Linie praktisch gleich der Breite des  $2^1\text{P}_1$ -Resonanzterms. Zur Bestimmung der Breite des Resonanzterms wurde außerdem noch die Breite der gelben Quecksilberlinie  $577 \text{ m}\mu$  ( $2^1\text{P}_1 - 3^3\text{D}_2$ ) gemessen, die sich zusammensetzt aus der Breite des Resonanzterms  $2^1\text{P}_1$  und derjenigen des  $3^3\text{D}_2$ -Terms. Der  $3^3\text{D}_2$ -Term wird durch Elektronenstoß verbreitert. Diese Verbreiterung geht proportional der Stromstärke der Entladung. Die Breite des Resonanzterms kann erhalten werden, wenn bei gleicher Atomdichte (d. h. praktisch konstant gehaltenem Druck) die Stromstärke variiert wird. Die Extrapolation der Breite der gelben Linie auf die Stromstärke 0 bei einem vorgegebenen Druck ergibt die Verbreiterung des Resonanzterms. Diese Werte stimmen mit den direkt gemessenen Breiten der infraroten Linien im Rahmen der Meßgenauigkeit nahezu überein. Die gemessenen Breiten des Resonanzterms gehen proportional der Atomdichte in Übereinstimmung mit einer Theorie von Fursow und Wlassow. Die Absolutwerte übersteigen jedoch die nach der Theorie berechneten um ca. 60 %. Eine kleine zusätzliche Stark-Effektverbreiterung der infraroten Linie wurde festgestellt. Jedoch überschreitet diese bei der im Plasma gemessenen maximalen Elektronendichte von  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  den Betrag von  $4 \text{ cm}^{-1}$  nicht.

**P. Gerthsen u. P. Schulz** (Karlsruhe): Der Wirkungsquerschnitt der positiven Ionen gegenüber Elektronen im Hg-Hochdruckplasma. (Vorgetragen von P. Schulz.)

Die im vorhergehenden Vortrag dargestellten Messungen der Elektronenstoßverbreiterung der  $3\text{D}$ -Terme erlauben die Bestimmung der Elektronendichte im Hg-Hochdruckplasma. Zusammen mit Leitfähigkeitsmessungen kann hieraus die mittlere freie Weglänge  $\lambda_e$  der Elektronen ermittelt werden. Diese ist im sehr hoch belasteten Hg-Plasma durch die Wechselwirkung der Elektronen sowohl mit den neutralen Atomen als auch mit den positiven Ionen bedingt und ist gegeben durch:

$$\lambda_e = 1/(N_Q + N_+ Q_+), \quad \dots (1)$$

wo N die Anzahl der neutralen Atome im  $\text{cm}^3$ ,  $N_+$  die der positiven Ionen,



$\bar{Q}$  den Querschnitt der Atome gegenüber den Elektronen,  $Q_+$  denjenigen der Ionen bedeutet. Nach Gl. (1) ist:

$$(1/\lambda_e)/N = Q + (N_+/N)Q_+ \quad \dots (2)$$

Wird  $(1/\lambda_e)/N$  in Abhängigkeit von  $N_+/N$  aufgetragen, so ergibt sich in Übereinstimmung mit Gl. (2) eine Gerade unabhängig von Druck und Stromstärke der Entladung. Aus dem Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate ist der Atomquerschnitt und aus der Steigung der Ionenquerschnitt zu bestimmen. Die so erhaltenen Ionenquerschnitte wurden verglichen mit theoretischen Werten nach Gvosdover. Größenordnungsgemäß stimmen beide überein, jedoch liegen die theoretischen Werte höher als die experimentell erhaltenen.

**T. Peters** (Kiel, z.Zt. Erlangen): Temperatur- und Strahlungsmessungen am wasserstabilisierten Hochdruckbogen.

Es wird ein wasserstabilisierter Hochdruckbogen beschrieben, der in einem von Wasser umgebenen Kanal brennt. Der Kanal wird durch Rotation des Druckgehäuses erzeugt. Der Druck entsteht durch Verdampfen des Wassers und kann bei 100 kW/cm (200 A, 500 V/cm) auf etwa 1000 Atm gesteigert werden. Es werden Messungen der Elektronenkonzentration und der Temperatur in der Bogenachse von kleinen bis zu extremen Druckwerten vorgenommen. Mit zunehmendem Druck verschmelzen die Balmer-Linien einschließlich  $H\alpha$  zu einem Kontinuum, dem sich das theoretisch erwartete Elektronenaffinitätsspektrum des Wasserstoffs (H-Kontinuum) überlagert. Das H-Kontinuum ist im extremsten Falle etwa dreißigmal stärker als das normale H-Kontinuum. Dadurch steigt die Kontinuumsintensität bei großen Drucken so hoch an, daß nahezu eine schwarze Strahlung von 12 000 °K emittiert wird.

**H. Maecker, T. Peters und H. Schenk** (Erlangen und Kiel): Messungen über die Wirkungsquerschnitte von Atomen und Ionen in einem thermischen Plasma. (Vorgetragen von H. Maecker.)

Die Leitfähigkeit eines thermischen Plasmas wird durch die Bremsung der Elektronen seitens der Ionen mit ihren weitreichenden Coulomb-Feldern und der Neutralteilchen mit den Ramsauer-Querschnitten bestimmt. Die Bremsung findet ihren Ausdruck in der Verkürzung der freien Elektronenweglänge  $\lambda_e$ , die mit den Wirkungsquerschnitten der anderen Teilchen verknüpft ist durch die Beziehung

$$\lambda_e = 1/(NQ_R + N_+Q_+).$$

Zur Messung des Ionenquerschnittes  $Q_+$  allein wird die Leitfähigkeit im wasserstabilisierten Hochleistungsbogen, der bei Achsentemperaturen von 20 bis 50 000 °K nur Ionen und Elektronen enthält, aus der Stromtransportgleichung ermittelt. Die gemessenen Ionenquerschnitte gehorchen der Gleichung

$$Q_{+exp} = e^4/(kT)^2 \cdot \ln(kT/e^2N_e^{1/3})$$

Sie sind also kleiner als nach Gvosdover, harmonisieren dagegen mit Spitzer.

Zur Messung des Ramsauer-Querschnittes  $Q_+$  allein wird in gleicher Weise die Leitfähigkeit in einem wasserstabilisierten Hochdruckbogen von 100 bis 1000 Atm. bei 12 000 °K ermittelt. Wegen des kleinen Ionisationsgrades sind hier nur die Neutralteilchen maßgebend. Es resultiert

$$Q = 90 \times 10^{-16} \text{ cm}^2 \text{ für } H + H + O.$$



Die Ergebnisse werden bestätigt an einem solchen wasserstabilisierten Bogen, in dem Ionen und Neutralteilchen zu gleichen Teilen die Leitfähigkeit festlegen.

Aus Messungen an Hochstromkohlebogen bei  $10\,000\text{ }^{\circ}\text{K}$  ergibt sich der Ramsauer-Querschnitt für N, C und O zu  $Q_R = 20 \times 10^{-16}\text{ cm}^2$ . In einem Diagramm  $\log Q_R$  gegen Anzahl der Valenzelektronen lassen sich diese und alle früheren Messungen von Ramsauer-Querschnitten innerhalb einer gewissen Fehlerbreite zu einer Geraden vereinigen.

**H. Schirmer** (Berlin): Zur Energiebilanz in einer zylindrischen Xenon-Hochdruckentladung.

Die Energiebilanz in einer Hochdruckentladung wird durch die Elenbaas—Heller'sche Differentialgleichung ausgedrückt, die den Zusammenhang zwischen der umgesetzten elektrischen Leistung pro Volumeneinheit  $L^*(T)$ , der vom Bogen abgegeben Strahlungsleistung pro Volumeneinheit  $S^*(T)$  und der aus dem betrachteten Volumenelement abgeführten Wärmeleistung darstellt.  $L^*$  ist bestimmt durch Saha-Gleichung und Beweglichkeit  $b_e$  der Elektronen,  $S^*$  kann unter Zugrundelegung eines mittleren passend definierten (von der Wellenlänge unabhängigen) Absorptionskoeffizienten  $\kappa$  ermittelt werden, während die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  gemäß den Formeln der kinetischen Gastheorie nach Chapman, Enskog und Eucken berechnet werden kann. Die Elektronenleitfähigkeit erweist sich als weitaus überwiegend. Es ist daher eine sorgfältige Untersuchung über die für Viskosität und Wärmeleitung maßgebenden Querschnitte der Atome und Ionen gegenüber Elektronen notwendig. Bei Kenntnis von  $L^*$ ,  $S^*$  und  $\lambda$  läßt sich schrittweise an jeder Stelle der Temperaturgradient  $dT/dr$  der Temperaturkurve  $T = T(r)$  senkrecht zur Bogenachse berechnen und damit die Integration der Elenbaas-Heller'schen Differentialgleichung durchführen. Das Ergebnis wird mit der aus Messungen der Leuchtdichteverteilung erschlossenen Temperaturverteilungskurve verglichen.

**E. Palm** (Greifswald): Über die Isolierung der Rekombinationsstrahlung in der Quecksilberdampf-Hochdruckentladung.

Als Beitrag zur Aufklärung der Entstehung des spektralen Kontinuums und im Anschluß an ältere Untersuchungen von P. Schulz und Mitarb. wurden Messungen an elektrodenstabilisierten Hg-Dampfbögen bei Dampfdrücken zwischen  $1/4$  und 8 at durchgeführt. Spektrographische Aufnahmen zeigten, daß im gesamten gemessenen Druckbereich der Hochdruckcharakter der Entladung gewahrt ist, d.h.  $T_e = T_{\text{Dampf}}$ . In der Versuchsanordnung wurde der Druck auf eine neuartige Weise eingestellt, gemessen und automatisch konstant gehalten. Es wurde dann die spektrale Strahlstärke des Kontinuums bei 4 verschiedenen Wellen und die einiger Linien bei Stromdichten bis zu  $300\text{ A/cm}^2$  im Bogenzentrum gemessen. Wir konnten in Übereinstimmung mit den theoretischen Ansätzen von Busz und Schulz bei hinreichend niedrigen Drücken die Rekombinationsstrahlung isolieren und den Übergangsbereich zur überwiegenden Stoßmolekülstrahlung bei höheren Drücken gut abgrenzen. Dieser erwartungsgemäß noch etwas von der Stromdichte abhängige Bereich lag bei etwa 3 at, also weit unterhalb des niedrigsten von Busz und Schulz angewendeten Druckes von 16 at.

**A. Bauer** (Heidelberg) und **P. Schulz** (Karlsruhe): Zur Theorie des Kathodenfalls in Lichtbögen. (Vorgetragen von A. Bauer.)

An Hand der Potentialtheorie läßt sich ein Zusammenhang zwischen Stromdichte und Feldstärke vor einer Bogenkathode angeben. Für Stromdichten z.B. unter  $10^5\text{ A/cm}^2$  bleibt die Feldstärke an der Kathodenober-

fläche unter  $10^7$  V/cm. Feldemission setzt erst bei höheren Feldstärken ein, d. h. zur Bestätigung der Schottky'schen Feldbogentheorie bedarf es nach bisher vertretener Ansicht kathodischer Stromdichten weit über  $10^6$  A/cm<sup>2</sup>. Neuere Beobachtungen ergaben vor der Hg-Kathode tatsächlich Stromdichten von  $10^6$  bis  $10^7$  A/cm<sup>2</sup>, was nach Berechnung von Th. Wasserab eine für den Elektronenstromanteil von rd. 80 % ausreichende Feldemission ergibt. Dies Ergebnis ist befriedigend, weil der Kathodenmechanismus ohne einen Elektronenstromanteil von 50 bis 80 % schwer denkbar ist.

Zur Untersuchung der Verhältnisse an höher schmelzenden und verdampfenden Metallkathoden, vor denen i. a. eine Stromdichte von  $10^4$  bis  $10^5$  A/cm<sup>2</sup> herrscht, wurde die gesamte Elektronenemission der Kathode (Thermoemission, Schottky'sche  $\sqrt{E}$ -Korrektur und Feldemission) abhängig von Feldstärke und Kathodenflecktemperatur entwickelt.

Es erweist sich, (1) daß bei jeder beobachteten Stromdichte der wahrscheinlichste Elektronenstromanteil von 80 % möglich ist, (2) daß der bekannte Umschlag von Kathodenfleckbogen in den kathodenflecklosen Bogen als Umschlag vom Feldbogen in den thermischen Bogen zu denken ist. Eine gemeinsame Betrachtung von thermischer und Feldbogentheorie ergibt sich zwanglos, ebenso wie die neuesten aus der Kontraktionstheorie entwickelten Erkenntnisse eine wesentliche Ergänzung dieser Untersuchung bedeuten. Dem Ziel einer Zusammenfassung aller sich z. T. noch widersprechenden Kathodenfalltheorien scheinen keine grundsätzlichen Schwierigkeiten mehr im Wege zu stehen.

**A. Bauer** (Heidelberg) und **P. Schulz** (Karlsruhe): Ein Verfahren zur Messung der Elektrodenfälle in Hochdruckentladungen. (Vorgetragen von P. Schulz.)

Aus den Heizeffekten an den Elektroden und aus der totalen Brennspannung bei kleinstem Elektrodenabstand hat man zwar schon Rückschlüsse auf die Elektrodenfälle in Hochdrucklampen gezogen. Zu direkt gemessenen zuverlässigen Werten ist man jedoch noch nicht gelangt. Die im folgenden angedeuteten Überlegungen führten zu einem unmittelbaren Meßverfahren.

Die maximale Temperatur im Hochdruckbogen herrscht in einem Abstand vor der Kathode, weit jenseits der Kathodenfallzone. Die Kathodenfallleistung  $U_K I$  fließt also dem Temperaturgradienten folgend zur Kathode, soweit sie nicht zur Befreiung der Elektronen aus der Kathode ( $\Phi I$ ,  $\Phi$  = Austrittsarbeit) und zur Aufheizung der zur Anode wandernden Elektronen ( $V_e I$ ,  $eV_e$  = mittl. Wärmeenergie pro Elektron) benötigt wird:

$$U_K I = W_K + \Phi I + V_e I \quad (W_K = \text{Kathodenheizleistung}).$$

Die symmetrisch gebauten Elektroden einer wechselstrombetriebenen Entladungslampe werden in waagrechter Brennlage gleich warm. Bei kleinstmöglicher Bogenlänge wird jeder Elektrode nahezu die Hälfte der Wechselstrombogenleistung  $W_{\text{wechs}}$  zugeführt. Einer Elektrode, die erst bei Gleichstrom, dann bei Wechselstrom auf gleiche Temperatur gelangt, wird in beiden Fällen die gleiche effektive Heizleistung zugeführt. Damit ergibt sich der Kathodenfall zu

$$U_K = W_{\text{wechs}}/2I + \Phi + V_e.$$

Entsprechende Überlegungen ergeben den Anodenfall. Eine Kontrolle der Ergebnisse ist dadurch gegeben, daß bei kleinstem Elektrodenabstand die Summe der Elektrodenfälle unmittelbar zu messen ist. Die Vermessung von Lampen verschiedener Elektrodenform ergab befriedigende Übereinstimmung.



## HALBLEITER

I. Am 20. September 1953, nachmittags

Vorsitz: W. Schottky (Pretzfeld)

**A. Rose** (Princeton, N.J.): Ohm'sche Kontakte für Cadmium-sulfid.

Cadmiumsulfid-Kristalle können mit weitem Widerstands- und Photoempfindlichkeitsbereich hergestellt werden. Das kontaktbildende Elektrodenmaterial hingegen bestimmt zum großen Teil die Stromspannungscharakteristik. Die gewöhnlichen Metallkontakte aus Gold, Silber, Kupfer, Platin und Nickel pflegen hohen Widerstand und Gleichrichterwirkung zu besitzen, sowie Rauschen und nicht-ohmisches Verhalten zu verursachen. Dies trifft sowohl für dunkel-leitende Kristalle zu als auch für solche, welche durch Licht leitend gemacht werden.

Unlängst haben wir gefunden, daß Indium und Gallium sowohl im Licht als auch in der Dunkelheit Kontakte mit guter ohmscher Charakteristik liefern [BULL. AMER. PHYS. SOC. 28, Nr. 4, Abstr. S1—S3 (Juni 1953).]

Diese Kontakte ergeben die folgenden Möglichkeiten: (1) Stromspannungskurven, welche von  $\frac{1}{100}$  Volt bis zu 100 Volt genau linear verlaufen; (2) fast rauschfreie Photo-Vervielfacher von hohem Wirkungsgrad; (3) Großflächen-Gleichrichter mit einem Vorwärts-Rückwärts-Verhältnis von  $10^7$ ; (4) Photo-leiter-Schalter, welche bis herab zu Mikrovolt frei von Photospannungseffekten sind; (5) raumladungsbedingte Ströme in dünnen isolierenden Kristallen, welche viele Größenordnungen höher liegen als deren Ohm'sche Ströme. Die raumladungsbedingten Ströme haben als Mittel zur Messung der Vollkommenheit von Kristallen besondere wissenschaftliche Bedeutung. Von der Größe dieser Ströme kann man auf die Anzahl der Fangstellen in dem Kristall schließen. Fangstellen-Dichten von der Größenordnung  $10^{14}/\text{cm}^3$  sind für einige CdS-Kristalle geschätzt worden. Da die raumladungsbedingten Ströme zunehmen, wenn die Fangstellen-Dichte sinkt, ist anzunehmen, daß diese Methode der Fangstellen-Dichte-Schätzung immer besser wird, je mehr sich der Kristall dem vollkommenen Zustande nähert.

**H. W. Leverenz** (Princeton, N.Y.): Elektronisch-aktive Festkörper.

Gemeinsame Eigenschaften der magnetischen Festkörper, Phosphore, Isolatoren, Licht- und Halbleiter und Elektronenstrahler in Bezug auf Zusammensetzung und Struktur.

Wechselwirkungen in gewissen ferromagnetischen und antiferromagnetischen kristallinen Verbindungen mit Nachdruck auf die Rolle von Zink, Mangan und Sauerstoff in Spinells; quantitative empirische Bestätigung von Néel's Hypothese über tetraedrische-oktaedrische Wechselwirkungen.

Einige Sondereigenschaften von Phosphoren, einschließlich Verstärkeraktivatoren, Aktivatorenwechselwirkung, Fangstellenverteilung und Anregung von Zinkoxydphosphoren durch Primärelektronen verschwindend kleiner kinetischer Energie.

**H.-H. Rath** und **R. Thediek** (Belecke/Möhne): Gegenwärtiger Stand der Kenntnisse des Mechanismus des Ge-In-Flächengleichrichters. (Vorgetragen von R. Thediek.)

Nach der Entdeckung des Ge-In-Gleichrichters (Hall, Dunlap) herrschte zunächst die Auffassung, daß bei der Herstellung dieser Gleich-

richter der Ge-Kristall von zwei Seiten im entgegengesetzten Sinne dotiert wird. Die später gemessenen Diffusionskonstanten der verwendeten Störstellen-Materialien widersprachen jedoch dieser Anschauung. Aus Kapazitätsmessungen folgte dann, daß zumeist an der Sperrschichtgrenze konstante Störstellendichte vorliegt. Die vorliegenden Widersprüche ließen sich durch die Annahme eines abrupten p-n-Überganges oder eines Metall-Halbleiter-Kontaktes vermeiden.

Eigene Untersuchungen ergaben nun, daß nicht immer derselbe innere Aufbau der Gleichrichter vorliegen kann. Es zeigte sich, daß dieser Aufbau von der Art der Herstellung wesentlich abhängt: Man kann sowohl den Fall konstanter Störstellendichte an der Sperrschichtgrenze, als auch einen komplizierten Schichten-Aufbau verwirklichen.

Direkte Untersuchungen des Grenzgebietes zwischen Ge und In ergaben, daß sich das In bei der Herstellung des Gleichrichters in das Ge hineinfrisßt. Bei der Abkühlung scheidet sich das zunächst im In gelöste Ge in feinkristalliner Form im In ab, während es an dem Grundmaterial in Form In-haltiger Schuppen wieder anwächst. In vielen Fällen findet man unter der Schuppenschicht eine p-leitende Ge-Schicht; zwischen dieser Schicht und dem Grundmaterial liegt die Sperrschicht. Die p-Schicht entsteht entweder durch Aufwachsen In-haltigen Germaniums oder durch Diffusion von Störstellen; dieser Effekt ist abhängig von der Art der Herstellung und von den verwendeten Materialien.

Die beobachteten Diffusions-Effekte können nicht von dem In herrühren. Es wird vermutet, daß das In Verunreinigungen enthält, welche wesentlich höhere Diffusionskonstanten aufweisen als das In. Das zur Herstellung der Gleichrichter verwendete In enthält tatsächlich bis zu 0,1 % Cu. Die Diskussion des Einflusses des Cu auf den gefundenen Effekt sei einer späteren Veröffentlichung vorbehalten.

**W. Reichardt** (Berlin-Dahlem): Eine modellmäßige Untersuchung der optischen Elektronenübergänge in Störstellenhalbleitern (Kristallphosphoren).

Es werden die optischen Übergangswahrscheinlichkeiten für Elektronenübergänge aus unteren Bandrändern in Zwischenbandterme und aus Zwischenbandtermen in obere Bandränder als Einelektronenproblem berechnet. Der Rechnung zu Grunde gelegt wird ein ruhendes gestörtes Gitter, dessen Potentialverlauf modellmäßig durch ein eindimensionales gestörtes Kronig-Potential beschrieben wird. Im Energiespektrum des gestörten Gitters treten Zwischenbandterme auf, die zu symmetrischen und antisymmetrischen Eigenfunktionen der gestörten Gitterzellen gehören. Für die optischen Elektronenübergänge ergibt sich:

Sowohl die Übergänge aus dem unteren Rand des n-ten Energiebandes in Zwischenbandterme als auch die Übergänge aus Zwischenbandtermen in den oberen Rand des n-ten Energiebandes sind:

für n	erlaubt, wenn Eigenfunktion des Zwischenbandterms	verboten,
gerade	symmetrisch	antisymmetrisch
ungerade	antisymmetrisch	symmetrisch

Die Untersuchung ergibt — entsprechend ihrem Ansatz — keine Aussagen über thermische Einflüsse.



**R. Broser-Warminsky** (Berlin-Dahlem): Die Berechnung der energetischen Lage der Störstellen von Photohalbleitern (Kristallphosphoren) aus Abkling- und Ausheizkurven.

Die Analyse von Abkling- und Ausheizvorgängen der Lumineszenz und der elektrischen Leitfähigkeit von Störstellenhalbleitern gestattet Rückschlüsse auf die energetische Lage der Haftstellen im Kristallgitter. Voraussetzung hierfür ist die Auffindung eines funktionellen Zusammenhanges zwischen den Meßgrößen (Lumineszenz bzw. Leitfähigkeit und Zeit bzw. Temperatur) einerseits und den gesuchten Größen (energetische Lage und Konzentration der Haftstellen) andererseits. Dieser Zusammenhang wird abgeleitet unter der Annahme, daß sich die Konzentration der Störstellen nicht allzu stark mit der Energie ändert und daß zwischen den leitenden und den eingefangenen Elektronen stets ein quasistationäres Gleichgewicht besteht.

**F. Matossi und S. Nudelman** (White Oak/Maryland): Einige Elektrolumineszenz-Effekte und ihre Deutung. (Vorgetragen von F. Matossi.)

Der Einfluß eines elektrischen Wechselfelds auf einen zum Gleichgewichtsleuchten erregten ZnS-Phosphor kann wie folgt gedeutet werden: Das Feld befreit Elektronen aus Haftstellen. Diese Elektronen werden teils Lumineszenz erzeugen, teils werden sie in Oberflächenzustände abgesaugt durch feld-induzierte strahlungslose Übergänge. Der Absaugeffekt wird unwirksam, sobald alle Oberflächenzustände gefüllt sind.

Die Erregung von Phosphoren in nicht-sinusförmigen elektrischen Feldern wurde oszillographisch untersucht, und zwar getrennt für die blaue und grüne Bande einer Sylvania-Zelle. Feldwechsel, Ein- oder Ausschalten erzeugen Intensitätsspitzen mit darauf folgender Abklingung. Intensität und Schärfe hängen vom Spektralbereich und vom Feldverlauf ab. Feldwechsel nach 2 msec ergibt im Blau jeweils gleiche Intensitätsänderung, im Grün Erhöhung auf die gleiche Maximalintensität. Verminderung des äußeren Feldes nach längerdauernder Einwirkung ruft weitere Intensitätsmaxima hervor.

Dies und andere Einzelheiten können durch plausible Annahmen über den zeitlichen Verlauf des wirksamen Felds (Einfluß von Raumladungen) und über die Lumineszenzprozesse gedeutet werden.

**H. Gobrecht und F. Speer** (Berlin): Zur Sekundärelektronenemission von Halbleitern. (Vorgetragen von F. Speer.)

Bei der Untersuchung der Sekundärelektronenemission verschiedener Germanium-Kristalle wird speziell der Einfluß der elektrischen Leitfähigkeit, des Leitungstyps und des jeweiligen Verunreinigungsmetalls studiert. Mit wachsender Leitfähigkeit erhöht sich die Sekundärausbeute. Und zwar bei einer Erhöhung von 0,07 auf 100 Ohm<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup> um 7 %. Dies wird auf die gleichzeitig wachsende Störstellenkonzentration zurückgeführt. Die auf Grund der ebenfalls zunehmenden Ladungsträgerkonzentration zu erwartende Ausbeuteminderung wird offenbar überdeckt. Der Leitungstyp und die Art des Verunreinigungsmetalls sind hinsichtlich der Sekundärelektronenemission innerhalb  $\pm 2\%$  ohne Bedeutung. Messungen an im Hochvakuum übergedampften Germanium- und Selenschichten mit und ohne geeignete Verunreinigungen bestätigen direkt oder indirekt diese Ergebnisse.

**H. Simon** (Berlin): Messung kleiner Röntgenstrahlintensitäten mittels CdS-Kristall-Halbleiterzelle.

Die Halbleitereigenschaften von CdS-Kristallen gestatten ihre Verwendung als Indikator in Dosimetern für Röntgen- und Gamma-Strahlen (Meß-

bereich von 15 000 r/min bis zu 0,001 r/min). Die Grenze der Meßgenauigkeit ist durch die Größe des Dunkelstromes gegeben. Es ist nun gelungen, den Dunkelstrom gegenüber den früheren CdS-Kristallzellen um mehrere Zehnerpotenzen zu senken, wobei gleichzeitig eine beträchtliche Erhöhung der lichtelektrischen Empfindlichkeit erzielt werden konnte.

Bestrahlt man nun eine CdS-Kristallzelle außer mit Röntgenstrahlen gleichzeitig mit einer schwachen Lichtstrahlung — möglichst außerhalb des Gebietes der Grundgitterabsorption —, so kann der Meßbereich bis zu 0,00001 r/min herab erweitert werden, d. h. es läßt sich eine Verstärkung von nahezu 2 Zehnerpotenzen erreichen. Es wurden die günstigsten Bedingungen angegeben und eine Erklärung des Vorgangs versucht.

## II. Am 21. September 1953, nachmittags

Vorsitz: W. Schottky (Pretzfeld)

**H. Welker** (Erlangen): Chemische Bindung und elektrische Eigenschaften von Verbindungen vom Typus  $A_{III}B_V$ .

Es werden die Bindungseigenschaften der halbleitenden Verbindungen vom Typus  $A_{III}B_V$  besprochen. Die Koexistenz von homöopolarem und heteropolarem Bindungsanteil ergibt eine Erhöhung der Bindungsfestigkeit (Resonanzverfestigung). Diese führt im Verein mit dem heteropolaren Bindungsanteil zu einer wesentlichen Vergrößerung der Breite der verbotenen Zone und der Elektronenbeweglichkeit gegenüber den entsprechenden halbleitenden Elementen der IV. Gruppe des Periodischen Systems. Aus diesem Grunde besitzen die Verbindungen  $A_{III}B_V$  nicht nur Gleichrichter- und Transistoreigenschaften wie Germanium und Silizium, sondern außerdem noch interessante magnetische Eigenschaften, insbesondere eine große Widerstandsänderung im Magnetfeld. Einzelheiten über experimentelle Ergebnisse und über damit zusammenhängende theoretische Fragen bringen die nachfolgenden Referate der Herren Folberth, Gremmelmaier, Madelung, Pfister, Seraphin, Weiß und Weisshaar.

**H. Weiß** (Erlangen): Messung der elektrischen Eigenschaften von Indiumantimonid.

In Ergänzung früherer Arbeiten werden die Ergebnisse der Messung von Leitfähigkeit, Hall-Effekt und magnetischer Widerstandsänderung im Bereich von  $-210$  bis  $450^\circ\text{C}$  an InSb mitgeteilt.

Mit Hilfe des Hall-Effektes wurden je nach Störstellengehalt Präparate mit n- und solche mit p-Leitung gefunden. Bei Zimmertemperatur erhält man als größte Elektronenbeweglichkeit  $60\,000\text{ cm}^2/\text{Vsec}$ , bei der Temperatur der flüssigen Luft etwa  $90\,000$ , während die höchste Widerstandsänderung in einem Magnetfeld von  $10\,000$  Gauß bei Zimmertemperatur  $460\%$  beträgt. Die Breite der verbotenen Zone ergibt sich aus Leitfähigkeitsmessungen nach den Rechnungen von Folberth und Madelung zu etwa  $0,3\text{ eV}$ .

**O. G. Folberth** (Erlangen): Zur Frage der Störstellen in  $A_{III}B_V$ -Verbindungen.

Es wurde über das Zonenschmelzen und Dotieren von InSb, GaSb und AlSb berichtet. Insbesondere wurde für InSb die spez. Leitfähigkeit längs eines zonengeschmolzenen Stabes untersucht und diskutiert. Im Gegensatz zu Ge zeigen p-leitende Stabteile u. U. geringere Leitwerte als der Eigenleitung entsprechen. Der Grund dafür ist in dem großen Unterschied zwischen der Elektronen- und Löcherbeweglichkeit zu suchen

$$(\mu_n \approx 60\,000\text{ cm}^2/\text{Vsec}, \mu_p \approx 1\,000\text{ cm}^2/\text{Vsec}).$$



Elemente der II. Gruppe des Periodischen Systems können als Akzeptoren, Elemente der VI. Gruppe als Donatoren in  $A_{III}B_V$ -Verbindungen eingebaut werden. Als Beispiel wurden die Temperatur-Leitfähigkeitskurven von dotierten GaSb-Proben (Zn als Akzeptor, Te als Donator) gezeigt.

**R. Gremmelmaier, O. Madelung und H. Pfister** (Erlangen): Zur Herstellung von Einkristallen halbleitender Verbindungen. (Vorgetragen von R. Gremmelmaier.)

Nach dem von G. K. Teal und Mitarbeitern für Ge und Si entwickelten Verfahren wurden InSb-Kristalle aus der Schmelze gezogen. Mit orientierten Keimen wurden Einkristalle mit gut ausgebildeten Makroflächen erhalten. Als günstigste Zugrichtung erwies sich die [111]-Richtung.

**E. Weißhaar** (Erlangen): Die Bestimmung von Diffusionslängen in InP und AlSb.

Es wurde eine Beschreibung der Meßapparatur und Meßmethode gegeben; ferner wurde an Hand von 2 Meßkurven über die vorläufigen Ergebnisse der Diffusionslängenmessung berichtet, welche bei p-leitenden Indiumphosphid eine Diffusionslänge für Elektronen von  $L_n = 100 \mu$ , und für ebenfalls p-leitendes Aluminiumantimonid einen Wert von  $L_n = 20 \mu$  liefert.

**O. Madelung** (Erlangen): Zur Theorie der magnetischen Effekte in Halbleitern hoher Beweglichkeit.

Für Halbleiter hoher Beweglichkeit sind die üblichen Näherungen in der Theorie der magnetischen Effekte (Hall-Effekt, magnetische Widerstandsänderung) nicht mehr hinreichend, da in diese Theorie immer das Produkt aus Beweglichkeit und magnetischer Feldstärke eingeht. Insbesondere für gemischte Halbleiter hoher Beweglichkeit werden der Hall-Koeffizient und die magnetische Widerstandsänderung stark feldstärkeabhängig. Im Bereich der Eigenleitung kann dabei, wie schon in einer Arbeit gemeinsam mit H. Welker gezeigt wurde, ein Vorzeichenwechsel des Hall-Koeffizienten mit wachsender Feldstärke auftreten.

**B. Seraphin** (Erlangen): Einige Folgerungen für halbleitende Verbindungen aus dem Kronig'schen Modell.

Als Modell des Überganges von einem rein homöopolar gebundenen Gitter zu einem solchen mit heteropolaren Bindungsanteil wird ein eindimensionaler Potentialverlauf betrachtet, in dem man vom Fall gleicher Potentialmulden zu einer Anordnung abwechselnd tiefer und flacher Mulden übergeht. Bei diesem Übergang, der für das Verhalten der von Welker untersuchten halbleitenden Verbindungen  $A_{III}B_V$  typisch ist, werden einige für Halbleiter charakteristische Eigenschaften untersucht. In qualitativer Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen zeigt sich für schwache heteropolare Bindungsanteile ein Absinken der scheinbaren Masse sowie ein starkes Anwachsen der Beweglichkeit gegenüber dem homöopolaren Fall. Die Verbreiterung der verbotenen Zone findet sich im Modell wieder, wenn man die Bindungsverfestigung berücksichtigt, die durch die Resonanz zwischen den beiden Bindungstypen auftritt. Das Modell zeigt, daß die gegenüber den isoelektronischen Elementen der IV. Gruppe veränderten Eigenschaften der  $A_{III}B_V$ -Verbindungen sich im wesentlichen aus zwei Ursachen heraus verstehen lassen:

1. Aus der Veränderung des Periodizitätscharakters des Gitters und
2. aus dem Zuwachs an Bindungsfestigkeit durch die Resonanz zwischen hetero- und homöopolarem Bindungsanteil.

**H. Rebstock und K. Seiler (Nürnberg):** Höchstfrequenzleitfähigkeit von Selen. (Vorgetragen von H. Rebstock.)

In einer konzentrischen Meßleitung werden bei etwa 750 MHz die Leitfähigkeiten verschieden dotierter Selen-Proben gemessen. Im Gegensatz zu den Messungen bei Gleichstrom sind die Widerstände der bei 217 °C ins Leitfähigkeitsmaximum getemperten Proben von der Jod-Dotierung unabhängig. Die nach verschiedenen langer Temperung bei 217 °C erfolgende Widerstandsänderung wird mitgeteilt und anhand elektronenmikroskopischer Aufnahmen ein qualitativer Deutungsversuch des Kurvenverlaufs unternommen.

**E. Nitsche und E. Schillmann (Berlin-Siemensstadt):** Die Leitfähigkeit des mikrokristallinen Selens bei gleichzeitigem Vorhandensein metallischer und metalloider Störstellen. (Vorgetragen von E. Schillmann.)

Es wird gezeigt, daß in dem defektleitenden, halogengestörten Selen durch zusätzliche spurenhafte Metalldotierung eine Leitfähigkeit erzielt werden kann, die über die des nur halogengestörten Selens hinausgeht. Maßgebend für den Effekt ist das Verhältnis der Zahl der eingebrachten Metallatome zu der der Metalloidatome. Die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit weist zwischen Zimmertemperatur und 100 °C einen Anstieg auf, der wenig vom Cl-Gehalt abhängt, jedoch durch relativ kleine Tl-Zusätze etwas, durch Fe-Zusätze deutlich vermindert wird. Es wird eine versuchsweise Deutung dieses Befundes gegeben.

**I. Broser (Berlin-Dahlem):** Zur Deutung der Meyer'schen Regel.

Die von Meyer und Neldel experimentell gefundene Abhängigkeit der Ablöseenergie der Elektronen von der Störstellenkonzentration eines Halbleiters läßt sich verstehen, wenn man mit annähernd konstanter energetischer Verteilung der Störstellen rechnet. Die Ablöseenergie entspricht dann nicht mehr dem Abstand eines diskreten Störstellenniveaus vom Band, sondern stellt die Energiedifferenz zwischen der Fermi-Kante des Störstellenkontinuums und dem Leitungsband dar. Im Gegensatz zu ähnlichen Überlegungen von Gisolf ist es dabei nicht nötig, einen Teil der Störstellen in die Energiebänder zu verlegen.

**E. Groschwitz (München):** Über den Temperaturkoeffizienten von Halbleitern.

Es wurden die Trägerdichten in Störhalbleitern für den gesamten Stör- und Eigenleitungsbereich in geschlossenen Ausdrücken berechnet. Damit erhält man auch im Übergangsgebiet den Temperaturkoeffizienten des Widerstandes. Setzt man die in ihrer Temperaturabhängigkeit errechneten Werte für die Dichten der Minoritätsträger in die Shockley'sche Formel für den Fluß- und Sperrstrom von pn-Übergängen ein, so erhält man auch deren Temperaturabhängigkeit. Der auch im Übergang von Stör- zu Eigenleitung gültige Ausdruck enthält neben einem schon aus allgemeinen Überlegungen bekannten Hauptterm drei Korrekturglieder. Auch bei Sättigung der Störleitung (positivem Temperaturkoeffizienten des Halbleiterwiderstandes) erhält man für den pn-Übergang einen negativen Temperaturkoeffizienten, dessen absoluter Betrag mit zunehmender Flußspannung abnimmt. Der berechnete Temperaturverlauf der Stromdichten für die Fluß- und Sperr-Richtung wurde mit Meßergebnissen verglichen. Er ist, da die Korrekturglieder sich teilweise kompensieren, innerhalb der Meßgenauigkeit durch den Hauptterm bestimmt.



**W. R. Swinne** (Berlin): Über einen amphoteren Halbleiter: Siliziumkarbid.

Nach Festlegung der kristallographischen und elektrischen Eigenschaften von Siliziumkarbid wird über neuere Untersuchungen berichtet, die Siliziumkarbid als amphoteren Halbleiter charakterisieren.

Die Spannungsabhängigkeit wird mit Hilfe des Zener-Effektes zu erklären versucht. Absorptionsmessungen von Siliziumkarbid werden zur Diskussion gestellt. Der Einbau der Fremdatome wird mit Hilfe des Periodischen Systems erklärt.

**L. Oertel** (Berlin-Friedenau): Über einige Beziehungen zwischen Transistor- und Röhrenschaltungen.

Zur Herstellung von Beziehungen zwischen Transistor- und Röhrenschaltungen sind die in der Literatur beschriebenen Methoden bei Spitzentransistoren mit einem Stromverstärkungsfaktor  $> 1$  wenig geeignet. Es läßt sich nun aus der Diskussion der Kennlinienfelder und des Ersatzschaltbildes zeigen, daß der Transistor in seinem Verhalten äquivalent ist mit einem zweistufigen rückgekoppelten aperiodischen Verstärker. Dies führt zu einer Röhrenschaltung, die im wesentlichen identisch ist mit einer Röhrenanordnung, die von K. Steimel verwendet wurde, um die Stabilität von Schwingungen beim Lichtbogen und beim Dynatron zu untersuchen. Hiermit lassen sich sehr anschaulich Beziehungen zwischen Transistor- und Röhrenschaltungen herstellen. An einigen Beispielen wird dieses erläutert und gezeigt, daß man eine Reihe von Fragen, die bei den Transistor-schaltungen auftreten, unmittelbar aus der Kenntnis der entsprechenden Röhrenschaltung beantworten kann.

## HOCHFREQUENZ

I. Am 24. September 1953, vormittags

Vorsitz: H. Rothe (Ulm-Söflingen)

**H. Severin** (Göttingen): Die Quetschleitung — ein einfaches Meßinstrument im Bereich der Zentimeterwellen.

Bei Hohlrohrwellen hängt die Phasengeschwindigkeit von den Querschnittsabmessungen des Hohlleiters ab. Man kann daher die in Rohrwellenlängen gemessene „elektrische Länge“ eines Leitungsstückes durch mechanische Deformation des Leitungsquerschnittes ändern. Im Falle eines rechteckigen Hohlleiters, der eine  $TE_{10}$ -Welle führt, bringt man in der Mitte seiner beiden Breitseiten je einen langen, schmalen Schlitz und bei der halben Schlitzlänge eine Klemmvorrichtung an, mit der der Hohlleiter etwas zusammengedrückt werden kann. Der Zusammenhang zwischen Quetschung und resultierender Änderung der elektrischen Länge wird nach einem Störungsverfahren in erster und zweiter Näherung berechnet. Es ergibt sich zunächst, daß Reflexionen infolge der Querschnittsänderung nicht auftreten; damit kann die Quetschleitung zur Impedanzmessung und als Phasenschieber benutzt werden. Die zweite Näherung gestattet anzugeben, wie lang man die Quetschleitung mindestens machen muß, damit der Zusammenhang zwischen Quetschung und Änderung der elektrischen Länge ein rein linearer bleibt. Messungen bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 3$  cm sind in guter Übereinstimmung mit der Rechnung.

**E. Ledinegg** und **P. Urban** (Graz): Zur Ableitung des Äquivalenzsatzes eines schwach gekoppelten elektromagnetischen Hohlraumsystems. (Vorgetragen von E. Ledinegg.)

Es ist bekannt, daß ein schwach gekoppeltes Hohlraumsystem in seiner Wirkung nach außen, etwa als Zweipol aufgefaßt, einem quasistationären System, welchs aus einfachen L-C-R-Kreisen besteht, gleichwertig ist, d. h. die gleiche Frequenzabhängigkeit mit diesem besitzt. Die bisher vorliegenden Beweise dieses Äquivalenzsatzes sind entweder unter Benützung von quasistationären Elementen erfolgt, was den Gültigkeitsbereich einschränkt, oder aber in Form von Plausibilitätsbetrachtungen durchgeführt. Man kann jedoch auf Grund der Maxwell'schen Gleichungen nur unter der notwendigen Voraussetzung schwacher Kopplung zwischen den einzelnen Resonatoren mittels einer Störungsrechnung erster Ordnung den Äquivalenzsatz in voller Allgemeinheit streng beweisen. Dies geschieht zunächst durch Ableitung einer Zustandsgleichung, welche die Zustandsänderungen durch Variation der Systemparameter in Evidenz setzt. Daraus kann die Frequenzabhängigkeit des Systems berechnet werden, welche sich als eine rational gebrochene Funktion von gleichem Aufbau wie die analoge Frequenzfunktion eines quasistationären Systems ergibt.

**H. Florian** (Graz): Zur Abstrahlung vom offenen Ende einer Lecherleitung und eines Hohlrohres in großer Entfernung von der Öffnung.

Das Problem der Abstrahlung elektromagnetischer Wellen vom offenen Ende von Hohlrohren und Lecher-Leitungen ist ein Beugungsproblem, welches im allgemeinen mit Näherungsmethoden gelöst wird. So hat H. Buchholz die Berechnung der abgestrahlten elektromagnetischen Felder auf die Berechnung des Hertz'schen und Fitzgerald'schen



Vektors aus Stromblättern an der Öffnung zurückgeführt, deren Verteilung durch die ungestörte Hohlrohrwelle an der Rohroffnung gegeben sein soll. In ähnlicher Weise wie Buchholz für das Hohlrohr mit kreisförmigem Querschnitt geht S. A. Schelkunoff im Falle der Lecher-Leitung für große Entfernungen von der Öffnung vor, doch bricht er seine erhaltene Reihe bereits nach dem ersten Gliede ab. Die Resultate für die Lecher-Leitung lassen sich erweitern, wobei sogar von einer Reihenentwicklung im Ergebnis abgesehen werden kann, da die auftretenden Integrale mit Hilfe der Sattelpunktmethode oder durch Einführung einer Reihenentwicklung nach den Bessel-Funktionen ausgewertet werden können. Dieselben Methoden führen auch beim Hohlrohr mit kreisförmigem Querschnitt zum Ziel. Diese Berechnungen beschränken sich auf das Feld in großer Entfernung von der Öffnung, wobei die Ergebnisse für die praktischen Auswertungen deshalb einfach sind, weil in ihnen nur Kreisfunktionen und Bessel-Funktionen mit ganzzahligen Indizes auftreten.

**O. Eckert** (Lauf/Pegnitz): Über neuartige Ferrite mit rechteckförmiger Hysteresisschleife.

Wie jedes metallische Ferromagnetikum eine von seiner Zusammensetzung und Behandlung abhängige Hysteresisschleife zeigt, so ist dies auch bei den Ferriten der allgemeinen Formel  $x \cdot \text{MeO} \cdot y \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  der Fall. In einem ganz bestimmten Kompositionsgebiet des Magnesium-Ferrits sind rechteckförmige Hysteresisschleifen zu erhalten. In Verbindung mit der bei Ferriten bekannten hohen Grenzfrequenz und Verlustfreiheit stellen diese Ferrite ideale elektronische Schaltelemente dar. Wesentlich für ein einwandfreies Arbeiten als Schaltelement ist die Konstanz der Form der Hysteresisschleife im Gebiet hoher Frequenzen. Am Beispiel eines aus solchen Ferritkernen aufgebauten magnetischen Schnellspeichers für elektronische Rechenmaschinen werden die Güte- und Stabilitäts-Kriterien für solche Ferritkerne hergeleitet.

**G. Becker** (Braunschweig): Frequenzmessung mit elektronischen Zählwerken.

Zwei elektronische Zählwerke, von denen das eine die Perioden einer bekannten Frequenz (Normalfrequenz) und das andere die einer unbekannten Frequenz zählt, werden durch elektronische Schalter exakt zu Beginn einer Periode der bekannten (oder der unbekannten) Frequenz gemeinsam eingeschaltet und automatisch am Ende der 1 ten, 10 ten... 10<sup>6</sup> ten Periode der bekannten (oder unbekannten) Frequenz gemeinsam abgeschaltet. Die Frequenz bzw. Periodendauer kann dann bei einer Meßzeit von 100 sec auf  $\pm 1 \times 10^{-7}$  unmittelbar abgelesen werden (in 1 sec auf  $\pm 10^{-5}$ ).

In Verbindung mit Frequenzvervielfachung und Schwebung ergibt sich eine Meßgenauigkeit von mindestens  $\pm 1 \cdot 10^{-9}$  in 100 sec bzw. von  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$  in 1 sec. Ferner können folgende Aufgaben gelöst werden: (1) Messung von Zeitintervallen beliebiger Dauer mit einem Absolutfehler von  $5 \times 10^{-6}$  sec; (2) Herstellung von scharfen Zeitmarken von vorgegebenem Abstand; (3) Automatische elektronische Unterbrechung bzw. Einschaltung von Wechselströmen (Zeitzeichen).

**Th. Gast** (Darmstadt): Eine Methode zur Vielfachregistrierung von Kapazitäten und Dielektrizitätskonstanten für biologische und physikalisch-chemische Anwendungen.

Es wird eine Methode zur gleichzeitigen Aufzeichnung mehrerer Kapazitäten beschrieben, bei welcher als neues Hilfsmittel der periodische Abgleich einer Wechselstrombrücke dient. Als Abgleichelement wird ein ver-

änderlicher Kondensator verwendet, dessen Verstellweg mit der gleichförmigen Hin- und Herbewegung eines Schreibstiftes zusammenfällt. Jedemal, wenn bei einem bestimmten Wert des Abgleichkondensators der Gleichgewichtszustand der Brücke durchlaufen wird, entsteht mit Hilfe einer Verstärkerschaltung mit Thyatron ein Impuls, der auf den Schreibstift gelangt und zu einem sichtbaren Durchschlag des Papiers führt. Hierbei wird eine Empfindlichkeit bis zu  $0,01 \text{ pF/mm}$  bei einer Diagrammbreite von  $250 \text{ mm}$  erreicht. Schaltet man bei jeder Periode auf eine andere Meßstelle um, so lassen sich mehrere Kapazitäten zugleich als Funktion der Zeit aufnehmen. Die Methode ist unter anderem zur Registrierung von Gasdrücken in der Warburg-Apparatur für die Untersuchung von lebenden Objekten oder von Photosynthesen geeignet. Hierbei vermittelt eine Membrandose zwischen Druck und Kapazität. Ebenso lassen sich Dielektrizitätskonstanten von organischen Flüssigkeiten zu analytischen Zwecken überwachen. Hierbei kann die relative Genauigkeit durch Nullpunktunterdrückung gesteigert werden.

## II. Am 24. September 1953, nachmittags

Vorsitz: H. Rothe (Ulm-Söflingen)

**R. Gebauer und W. Volk** (Darmstadt): Der Einfluß der Raumladung auf die Schwingungserzeugung in einem Triftrohr. (Vorgetragen von R. Gebauer.)

Die Verformung der Elektronenbahnen im Weg-Zeit-Diagramm eines Triftrohres unter dem Einfluß der Raumladung und des Aussteuerungsgrades wird theoretisch erörtert und die damit verbundene Abhängigkeit des Wirkungsgrades von Raumladung und Aussteuerungsgrad aufgezeigt. Während eine rechnerische Behandlung dieser Fragen auf große Schwierigkeiten stößt, gelang es hingegen, diese für die Wirkungsweise eines Triftrohres interessierenden Zusammenhänge experimentell zu bestimmen. Dies wurde ermöglicht durch die Einführung einer neuen Methode zur Bestimmung des Wirkungsgrades solcher Generatoren aus Gleichspannungsmessungen bei konstanter Verlustleistung auf dem Auffänger. So konnte der Wirkungsgrad als Funktion des relativen Aussteuerungsgrades bei verschiedenen Strahlstromdichten unter gleichzeitiger Messung der abgegebenen Nutzleistung aufgenommen werden, wobei der relative Aussteuerungsgrad durch eine Sondenmessung ermittelt wurde.

Die Ergebnisse zeigen ein deutliches Ansteigen des Wirkungsgradmaximums mit der Strahlstromdichte, d. h. daß die Raumladung keinesfalls immer den Wirkungsgrad erniedrigt. Ferner ergeben sich aus den Messungen weitere Einblicke in die Arbeitsweise eines Triftrohres.

**H. W. König und R. Wiesner** (Wien): Rauschminima in Elektronenstrahlen. (Vorgetragen von H. W. König.)

Die Theorien über den Rauschvorgang in Elektronenstrahlen gehen bekanntlich von der Annahme aus, daß im Potentialminimum bzw. an der Kathode eine reine Geschwindigkeitsschwankung besteht. Mit dieser Annahme kommt man zu exakten Nullstellen des Schwächungsfaktors im Triftraum, während das Experiment von C. C. Cutler und C. F. Quate Minima von ganz bestimmter Größe ergibt.

R. Wiesner konnte nun nachweisen, daß bei voller Raumladung in der Vorbeschleunigungsstrecke die Annahme einer reinen Geschwindigkeitsschwankung aus Stabilitätsgründen nicht aufrechterhalten werden kann und zur Geschwindigkeitsschwankung eine kohärente Stromschwankung von bestimmter Größe zur Einhaltung der Stabilität hin-



zugenommen werden muß. Damit ergibt sich ein von Null verschiedener Wert für das Minimum des Schwächungsfaktors  $S_{\min}$  im Triftraum. Dieser Wert ist als untere Grenze für den Schwächungsfaktor anzusehen, der man sich annähert, wenn alle inkohärenten Rauschkomponenten — beispielsweise das Stromverteilungsrauschen am Meßresonator — ausgeschaltet werden. Das Ergebnis wird an Hand vorliegender Meßwerte diskutiert.

**L. Brück** (Ulm): Eine neue Traveling-Wave-Röhre für das 4000 MHz-Band.

Kurzer Überblick über die bisher üblichen Bauformen und Darlegung der Gedanken, die zu der vorliegenden neuen Bauform führten. Sie zeichnet sich aus durch große mechanische Festigkeit, leichte Auswechselbarkeit der Röhre im Gerät und einfache und genaue Montage des Röhrensystems. Beschreibung der Röhre und des Fokalisators (Magnetfeld + HF-Ankopplungselemente am Eingang und Ausgang). Die Elektronenkanone ist magnetisch abgeschirmt, und die Eintrittsstelle des Strahles in das Magnetfeld wurde so gewählt, daß längs des Strahles in der Wendel nur geringe Durchmesser-schwankungen auftreten. Die Betriebsdaten der Röhre sind 1200 V und ca. 30 mA. Dabei gibt sie eine Verstärkung von 30 db und eine Leistung von etwa 3 Watt ab. Es werden die Kennlinien gezeigt. Aus der Änderung der Phase am Ausgang in Abhängigkeit von der Wendelspannung geht die Brauchbarkeit der Röhre zur Phasenmodulation hervor. Abschließend folgt ein Vergleich mit den Betriebsdaten von einigen bisher auf dem Markt befindlichen Traveling-Wave-Röhren.

**H. Kleinwächter** (Weil/Rhein): Der Energieaustausch eines Elektronenstrahles mit einer unverzügerten elektromagnetischen Welle in Anwesenheit eines örtlich periodischen konservativen Kraftfeldes.

H. Motz und Mitarb. berichten über Versuche, durch rasche Elektronenstrahlen Millimeter- und selbst Lichtwellen erregen zu lassen. [J. APPL. PHYS. 24, 826, 1953]. Die Elektronen werden zu diesem Zwecke durch ein örtlich periodisches, magnetostatisches Feld geschossen, das sie auf einer geschlängelten Bahn durchlaufen. Sie strahlen somit wie ein bewegter elektrischer Dipol. Unabhängig von diesen Untersuchungen hatte der Verf. festgestellt, daß die pro Schwingung abgestrahlte e. m. Energie im allgemeinen sehr klein im Verhältnis zur Schwingungsenergie des Elektrons ist, und hatte daher eine wirksamere Methode der Energiegabe an eine fortschreitende e. m. Welle vorgeschlagen [ELEKTROTECHN. Z. 72, 714, 1951; ARCH. ELEKTR. ÜBERTR. 6, 376, 1952]. Es läßt sich nämlich leicht beweisen, daß ein Elektron auch im Kraftfelde einer unverzügerten e. m. Welle  $\mathbf{W}(\mathbf{r}, t)$  stark abgebremst wird, wenn dieser Welle ein statisches, räumlich periodisches Feld  $\mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{r})$  geeigneter Polarisation und Periode überlagert ist. Mit  $\mathbf{r}, \mathbf{r}$ , dem Ortsvektor des betrachteten Elektrons, lautet die Bewegungsgleichung:

$$(m/e)\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{W}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{r}).$$

Dadurch ergibt sich die Energieänderung des Teilchens zu

$$\Delta E = e \int_{t_0}^t \mathbf{W}(\mathbf{r}, t) \dot{\mathbf{r}} dt.$$

Da nun der periodische Anteil von  $\dot{\mathbf{r}}$  im wesentlichen durch das starke Schüttelfeld  $\mathbf{F}$  bedingt ist, können  $\mathbf{W}(t)$  und  $\dot{\mathbf{r}}(t)$  kohärent gemacht werden, so daß  $\Delta E$  einen mit  $t$  linear ansteigenden Anteil besitzt; d. h. auf das Elektron wirkt eine Gleichkraft, die dem Produkt aus Wellenamplitude und Schüttelamplitude proportional ist und den Energieaustausch bewirkt.

Die Rolle des statischen Schüttelfeldes, das erst den Energieaustausch zwischen Welle und Elektron ermöglicht, ohne sich selbst energetisch zu ändern, findet eine Analogie im Katalysator chemischer Reaktionen.

Das geschilderte Verfahren dürfte sich zum Bau von Wanderfeldröhren kürzester Wellenlängen eignen.

Die raumperiodischen Felder der Ionenkristallgitter stellen, für in sie eingeschlossene Elektronen, ebenfalls Schüttelfelder dar, die möglicherweise auch zur Verstärkung noch kürzerer e.m. Wellen benützt werden könnten.

**H. Schnitger** (Darmstadt): Die Messung der Amplitude der Welligkeit des Elektronenstrahls einer Wanderfeldwendelröhre.

Wanderfeldwendelröhren erfordern ein magnetisches Längsfeld, um bei den vorgegebenen Strahllängen ausreichend große Stromdichten erzielen zu können. Wenn es hierbei nicht gelingt, die Bedingungen für den Eintritt des Elektronenstrahls in den homogenen Teil des Feldes optimal zu gestalten, weist der Strahl eine schädliche Welligkeit auf mit Knoten, die regelmäßig im Abstand  $\lambda$  wiederkehren. In der vorliegenden Arbeit wird eine Meßmethode angegeben, um die schädliche Strahlwelligkeit in Wanderfeldwendelröhren ohne den Einbau von Meßelektronen ermitteln zu können. Es wird hierzu, ausgehend von der Arbeit von Wang, ein Zusammenhang zwischen Welligkeit und Knotenabstand in allgemeinen Koordinaten angegeben, mit dem Raumladungsverhältnis  $J/V^{3/2}$  als allgemeinen Parameter. Der Strahlknotenabstand wird mit Hilfe der Messung des Wendelstromes als Funktion der Stellung einer längs der Wendel verschiebbaren Magnetfeld-Störspule ermittelt, die als Doppelspule ausgebildet ist und den Röhrenquerschnitt konzentrisch umgibt. Da der Zusammenhang zwischen der Strahlwelligkeit und dem Strahlknotenabstand unabhängig von der Strahlstromstärke ist, ergibt die Messung bei Anwesenheit positiver Ionen die „tatsächliche Strahlwelligkeit“. Andererseits läßt sich bei Annahme eines reinen Elektronenstromes mit Hilfe der lichten Weite der Wendel eine „scheinbare Strahlwelligkeit“ ermitteln. Aus dem Unterschied beider Welligkeiten läßt sich angeben, bis zu welchem Betrag die Elektronenraumladung durch positive Ionen kompensiert wird. Die Meßergebnisse lassen darauf schließen, daß bei gut evakuierten Röhren der kompensierte Anteil etwa 40 % beträgt.

**Ch. Schmelzer** (Heidelberg): Einige Fragen zur Speisung von Höchstfrequenz-Elektronenbeschleunigern.

Es wird über die Anforderungen referiert, welche an das Hochfrequenz-System von Elektronen-Linearbeschleunigern und Elektronen-Zyklotrons gestellt werden. Beide Beschleunigertypen arbeiten im Impulsbetrieb und mit Frequenzen von ca. 3000 MHz. Beschleuniger für 10 MeV Elektronen benötigen Impulsleistungen von etwa 500 bis 2000 kW. Die Eingangsimpedanz der Beschleunigungssysteme ist in allen Fällen stark frequenzabhängig. Beim Elektronenzyklotron werden besondere Anforderungen an die Konstanz der Beschleunigungsspannung gestellt.

**W. Dahlke** (Ulm): Langlebensdauer-Röhren.

Nach einer Erläuterung der Vorgänge in der Oxydkathode werden die Methoden zur Messung von Kathodeneigenschaften während der Lebensdauer kritisch betrachtet und Lebensdauerergebnisse für verschiedene Oxydkathoden mitgeteilt. Als wichtigste Ursache für die Begrenzung der Lebensdauer werden eine Erschöpfung der Emission sowie Zwischenschichtbildungen in der Oxydschicht und Kathodenvergiftungen ermittelt. Die Messung der Abhängigkeit dieser Effekte von der Kathodentemperatur wird im Zu-



sammenhang mit Untersuchungen des Zwischenschichtwiderstandes und der Ba-Verdampfungsgeschwindigkeit aus der Oxydschicht diskutiert und ge-  
deutet. Ausführungen über die Lebenswahrscheinlichkeit von Oxydkathoden  
und Hinweise auf ungeklärte Fragen beschließen den Bericht.

**E. Häusler** (Freiburg/Brsg.) und **B. Koch** (Weil/Rhein): Frequenz-  
regelung von Kurzwellen-Senderstufen mittels einer  
elektrodenlosen Gasentladung. (Vorgetragen von B. Koch.)

Im Anschluß an frühere Untersuchungen [B. Koch, Z. ANG. PHYS. 5, 292,  
1953] durchgeführte Messungen über die Rückwirkung einer im Inneren der  
Schwingspule eines Röhrensenders angeordneten elektrodenlosen Hoch-  
frequenz-Gasentladung auf dessen Frequenz ergaben, daß außer der be-  
reits bekannten, mit wachsender Brennspannung monoton ansteigende sta-  
tische Frequenzkennlinien bedingenden Entladungsform in Luft oder Luft-  
Hg-Dampf-Gemisch noch eine andere Entladungsform auftreten kann, die  
innerhalb eines engen Brennspannungsbereiches eine steile und weitgehend  
lineare Abnahme der Schwingungsfrequenz mit wachsender Spannung zur  
Folge hat, z. B. bei einer mittleren Frequenz von 45 MHz bis zu 30 kHz pro  
Volt Spannungsänderung. Durch Überlagerung einer schwachen Tonfrequenz  
über die Brennspannung wurden orientierende FM-Versuche mit zufrieden-  
stellendem Ergebnis durchgeführt. Eine Abschirmung des elektrostatischen  
Spulenfeldes ergab, daß beide Entladungsformen durch das axiale Divergenz-  
feld der Spule bedingt sind. Während die erste Kennlinienform vielleicht  
auf die mit wachsender Elektronenkonzentration abnehmende DK des Ent-  
ladungsplasmas zurückzuführen ist, deutet die einen dispersionskurven-  
ähnlichen Verlauf zeigende zweite Form auf die Anregung einer mit der von  
der Entladung aufgenommenen Leistung veränderlichen Eigenfrequenz des  
Plasmas hin. Eine dritte Entladungsform mit ebenfalls positiver Frequenz-  
kennlinie geringerer Steilheit ist dagegen durch das Rotationsfeld der Spule  
bedingt und in ihrer Wirkung einer im Spuleninneren befindlichen Kurz-  
schlußwicklung mit nichtlinearer Strom-Spannungscharakteristik äquivalent.

## HOCHPOLYMERE

I. Am 23. September 1953, nachmittags

Vorsitz: F. H. Müller. (Marburg)

**W. Kast** (Krefeld): Gesamtanteil und Teilchengrößen der Bereiche in den Cellulosefasern.

Im ersten Teil werden die röntgenographischen und volumetrischen Methoden zur Bestimmung des kristallinen Anteiles (crystallinity) der hochpolymeren Faserstoffe besprochen. Im zweiten Teile wird für Kautschuk, Polyäthylen und Cellulose ein Vergleich der nach beiden Methoden erhaltenen kristallinen Anteile durchgeführt. Die bei den Cellulosefasern nachgewiesene Übereinstimmung wird ebenso wie beim Kautschuk dahin gedeutet, daß die kristallinen und die nicht-kristallinen Gebiete einigermaßen übergangslos nebeneinanderstehen. Beim Polyäthylen dagegen weist das Fehlen dieser Übereinstimmung ebenso wie andere Anomalien des Röntgendiagramms auf eine größere Rolle von Gebieten mit Zwischenstrukturen hin. Im dritten Teil werden die Zugänglichkeiten (accessibilities) der OH-Gruppen der Cellulosefasern für die reversiblen Reaktionen des Deuterium-Austausches und der Wasserdampfadsorption besprochen und ihre Beträge den röntgenographisch bestimmten Größen der nicht-kristallinen Anteile gegenübergestellt. Die Feststellung, daß die Zugänglichkeiten stets etwas größer sind als die Nicht-Kristallinitäten, und daß die Deutung dieses Überschusses als Oberflächenreaktion der kristallinen Bereiche auf Teilchengrößen führt, die mit den Ergebnissen anderer Methoden (Röntgenlinienbreiten, Röntgenkleinwinkelstreuung und Elektronenmikroskopie) befriedigend übereinstimmen, wird als ein weiterer Hinweis auf die Teilcheneigenschaften der kristallinen Bereiche der Cellulosefasern gewertet.

**R. Hosemann** (Berlin-Dahlem): Röntgenstrukturanalyse mit Faltungsoperationen.

Ein Kernproblem der Strukturforschung ist der Dualismus kristallin-flüssig amorph. Die entsprechenden Interferenztheorien von v. Laue-Ewald-Bragg bzw. Zernicke-Prins-Debye-Menke bzw. Guinier-Warren-Hosemann existieren zusammenhanglos nebeneinander. Die Interferenztheorie des idealen Parakristalls und der polydispersen Haufwerke — mathematisch übersichtliche erste Näherungen zur Beschreibung der statistischen Ordnungs- und Unordnungsverhältnisse — vermögen diesen Dualismus befriedigend zu klären. Es werden eine Reihe zweidimensionaler Gittermodelle und ihre lichtoptisch hergestellten Faltungsquadrate und Beugungsbilder dazu benutzt, die Gültigkeit der neuen Interferenztheorien unter Beweis zu stellen und ihren mannigfaltigen Anwendungsbereich zu illustrieren.

**E. Pohl und W. Seefeldner** (Innsbruck): Ein Gerät zur Sichtbarmachung und photoelektrischen Registrierung des Quellkörpergehalts von Viskose. (Vorgetragen von W. Seefeldner.)

Die spinfertige, entlüftete und filtrierte Viskose enthält noch eine Anzahl sog. Quellkörper, d.i. nicht vollständig gelöste Zellulose. Die Quellkörper unterscheiden sich weder durch Brechungsindex noch durch sonstige optische Eigenschaften von der übrigen Viskose, sodaß sie mit normalen optischen Mitteln nicht sichtbar sind. In dem beschriebenen Gerät läuft die Viskose als Film durch eine spaltförmige Düse in einer wassergefüllten



Küvette ab. In diesem Film bilden die Quellsörper kleine linsenförmige Verdickungen, die durch ein modifiziertes Töpler'sches Farbschlierenverfahren sichtbar gemacht werden. Auf einem Bildschirm, dessen Grundfarbe bei Abwesenheit von Quellsörpern auf grün eingestellt ist, erscheinen die Quellskörper als blau-rote Flecken. Durch einen im Bildschirm angebrachten Schlitz gelangt Licht auf eine Photozelle. Zwischen Schirm und Photozelle befindet sich ein Rotfilter, das bewirkt, daß bei Abwesenheit von Quellskörpern kein Photostrom fließt, während jedes über den Schlitz wandernde Quellskörperbild durch seinen roten Teil einen elektrischen Impuls erzeugt. Die Impulse werden verstärkt und derart gleichgerichtet, daß die Gleichspannung der mittleren Impulszahl und Größe proportional ist. Die Gleichspannung steuert ein Röhrenvoltmeter und ein Schreibgerät.

**W. Knappe** (Darmstadt): Diffusion von Weichmachern in Polyvinylchlorid.

Die Konzentrationsänderung in der äußeren Grenzschicht einer Folie, welche von einer Mischung mit höheren Weichmachergehalt überschichtet ist, wird aus dem Grenzwinkel der Totalreflexion ermittelt. Hieraus läßt sich nach dem II. Fick'schen Gesetz ein mittlerer Diffusionskoeffizient für das betreffende Konzentrationsintervall berechnen. Die an verschiedenen Weichmachern in Abhängigkeit von der Konzentration und Temperatur gemessenen Diffusionskoeffizienten liegen im Wertebereich von  $10^{-6}$  bis  $10^{-12}$   $\text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$ , die aus ihrer Temperaturabhängigkeit berechneten Aktivierungsenergien der Diffusion zwischen 6 und 30 kcal/Mol, wobei höhere Energien bei niedrigeren Weichmacherkonzentrationen erforderlich sind. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit zeigt angenähert die gleiche Abhängigkeit von der Weichmacherkonzentration wie der Diffusionskoeffizient.

**F. H. Müller** (Marburg/Lahn): Zum Verhalten monomolekularer Filme von Hochpolymeren.

Eine im hiesigen Laboratorium aufgebaute Langmuir-Waage gestattet die Registrierung von Schub-Flächen-Diagrammen, wobei insbesondere durch eingeschaltete Entlastungen auch die Reversibilität des Filmverhaltens geprüft werden kann. Es zeigt sich, daß nur die echt spreitbaren Hochpolymeren, und zwar unterhalb des Kollaps, sich reversibel verhalten. Bei vielen der auf Lösungen aufgetragenen Hochpolymeren erhält man Hysteresis-Erscheinungen. Aus diesen und aus dem unter Umständen sehr kleinen Flächenbedarf pro Grundbaustein lassen sich weitgehende Schlüsse auf Lagerung und Beweglichkeit der Fadenmoleküle auf der Wasseroberfläche ziehen. Besonders aufschlußreiche Effekte ergaben sich aus Spreitung von Mischpolymerisaten und dem Vergleich zum Verhalten der Gemische derselben Hochpolymeren, wenn eine Komponente spreitbar, die andere es nicht ist.

## II. Am 24. September 1953, vormittags

Vorsitz: F. H. Müller (Marburg)

**G. W. Becker** (Braunschweig): Elastische Eigenschaften eingefrorener Hochpolymerer bei Zimmertemperatur im Frequenzbereich 5 bis 20000 Hz und im Temperaturbereich 20 bis 200 °C.

Der Elastizitätsmodul und die innere Dämpfung einiger hochpolymerer, nicht weichgemachter Kunststoffe wurden im gesamten Hörfrequenzbereich durch Untersuchung von Biegeschwingungen stabförmiger Proben bestimmt.

Dabei wurde die Temperatur weit über die Transformationsbereiche der bei Zimmertemperatur eingefrorenen Hochpolymeren hinaus variiert. Diese Bereiche wurden aus der Temperaturabhängigkeit des linearen Ausdehnungskoeffizienten ermittelt.

Es wird über die beobachteten Relaxationserscheinungen und ihre Frequenzverschiebung bei Veränderung der Temperatur berichtet. Das Relaxationsverhalten wird im Zusammenhang mit bekannten theoretischen Überlegungen diskutiert.

**J. Koppelman** (Braunschweig): Elastische Dispersion von Polyvinylchlorid als Funktion des Weichmachergehalts im Ultraschallbereich von etwa 50 kHz bis 4 MHz.

Es werden die mechanischen Eigenschaften von Polyvinylchlorid mit verschiedenem Weichmachergehalt als Funktion der Temperatur und der Frequenz untersucht.

Im Frequenzbereich von 150 kHz bis 4 MHz wird in eine Flüssigkeit ein Ultraschallimpuls gesandt und von einem Mikrophon zur Anzeige gebracht. Wird in den Schallstrahl eine Kunststoffplatte gebracht, so lassen sich aus Amplitudenabnahme und Phasenverschiebung die Dämpfung und die Schallgeschwindigkeit bestimmen.

Im Frequenzbereich 50 bis 150 kHz wird eine Kunststoffplatte zwischen einem elektrostatischen Sende- und einem elektrostatischen Empfangssystem zu Dickenschwingungen angeregt. Aus der Resonanzfrequenz läßt sich die Schallgeschwindigkeit und aus der Halbwertsbreite oder aus der Abklingzeit die Dämpfung berechnen.

**H. Oberst** und **G. W. Becker** (Braunschweig): Gefüllte Kunststoffe mit extrem hohen inneren Energieverlusten bei tiefen Frequenzen des Hörbereichs. (Vorgetragen von H. Oberst.)

Kunststoffe mit hoher innerer Dämpfung werden in der Technik z. B. zur Entdröhnung der dünnen Blechwände von Fahrzeugen, d. h. zur Dämpfung der Biegeschwingungen der Bleche benutzt, auf die sie meist in geeigneter Weise als fest haftende Belagschichten aufgebracht werden. Zur Erreichung hoher dämpfender Wirkungen muß man einen möglichst hohen Imaginärteil des dynamischen Elastizitätsmoduls, d. h. neben einer hohen inneren Dämpfung auch eine große Steifigkeit des Entdröhnungsmittels anstreben.

Die Frequenz- und Temperaturabhängigkeit der elastischen Eigenschaften eines solchen Mittels, das aus einem mit Vermiculiten (glimmerähnlichen, feinkörnigen Substanzen) gefüllten, weichgemachten Kunststoff besteht, wurden systematisch untersucht. Weichmacher- und Füllstoffgehalt wurden dabei variiert. Die Abhängigkeit des dynamischen Elastizitätsmoduls, insbesondere der mechanischen Dispersion, von diesen Stoffkomponenten wurde geklärt.

Durch passende Wahl des Weichmacher- und des Füllstoffgehaltes läßt sich ein hohes Maximum des Imaginärteiles des dynamischen Elastizitätsmoduls im gewünschten Frequenz-Temperatur-Bereich einstellen. Dekremente der Eigenschwingungen der belegten Bleche von der Größenordnung 1 wurden auf diese Weise erreicht.

**E. Schreuer** (Karlsruhe): Zur inneren Dämpfung von Kunststoffen.

Es wird eine elementare Berechnung der inneren Dämpfung von Werkstoffen gegeben, welche bei Berücksichtigung innerer Materialvorspannun-



gen die experimentell gefundene Abhängigkeit der Dämpfung von Frequenz, Amplitude und Dispersion der elastischen Konstanten befriedigend wiederzugeben vermag. Als Erzeuger der inneren Vorspannung kann die Oberflächenspannung angesehen werden; für die Relaxation der elastischen Kräfte wird nur eine diskrete Relaxationszeit vorausgesetzt.

**J. Heyboer** (Delft): Molekulare Betrachtungen über die mechanische Dämpfung im harten Gebiet des Polymethylmethacrylats.

Abgesehen vom Dämpfungsmaximum, gehörig zum Übergang glasartig-kautschukelastisch, enthält das Dämpfungsspektrum des Polymethylmethacrylsäuremethylesters noch ein kleineres Dämpfungsmaximum im glasartigen Gebiet [Lage ungefähr 1 Hz bei 20 °C; Schmieder und Wolf, KOLLOID-Z. 127, 65, 1952]. Der Einfluß chemischer Veränderungen auf dieses sekundäre Maximum, hauptsächlich durch Mischpolymerisation, wird gezeigt. Weichmachung, Vernetzung, Polarität und Kettenbeweglichkeit werden behandelt. Daran werden Betrachtungen über den molekularen Ursprung des Dämpfungsmaximums angeknüpft.

**A. Starzacher** (Graz): Mikroplastisches Fließen von Plexiglas.

Neben der makroskopischen Viskosität fester Hochpolymerer und bevorzugten Fließvorgängen an Inhomogenitätsstellen (Smekal 1951) gibt es plastisches Fließen in homogenen Stoffbereichen, das durch direkte mechanische Überwindung inner- und zwischenmolekularer Bindekräfte kommt. Wegen der mikroskopischen Kleinheit der homogenen Stoffbereiche wird dieses mikroplastische Verhalten an bruchfreien Ritzspuren untersucht, die durch Wirkung kleiner Belastungen über winzige Kontaktflächen (kleiner als  $1\mu^2$ ) erhalten werden (Klemm und Smekal 1951).

Die Weiterführung derartiger Versuche an Plexiglas mit Vickers-Diamantpyramiden als Ritzwerkzeug (R. G. Morris, 1951; A. Starzacher 1952/53) ergab Verformungswege, die mindestens das 20-fache der Länge des gestreckten Makromoleküls betragen konnten. Der Fließwiderstand zeigte sich nahezu unabhängig von der Fließgeschwindigkeit; auch seine Größe bestätigt die unmittelbare mechanische Überwindung der chemischen Bindekräfte.

Durch ausreichende Erwärmung der geritzten Plexiglasproben auf 130 °C findet eine vollständige Rückbildung der bruchfreien Formänderungen statt; als Motor dieser Rückbildung erwies sich das Vorhandensein einer charakteristischen Verteilung von Selbstspannungen, deren Abhängigkeit von der Wärmebehandlung durch Anquellen im Dampf der monomeren Flüssigkeit verfolgt wurde.

**K. Jäckel** (Marburg/Lahn): Energetische Bilanz der Zugdehnungsdiagramme bei der Kaltverstreckung.

Es wird der Verlauf der Zugdehnungsdiagramme an Polyvinylchlorid in Abhängigkeit von Temperatur, Probendicke und Verstreckungsgeschwindigkeit diskutiert. Zusammen mit früheren thermodynamischen Messungen und Überlegungen ergeben sich sehr weitgehende Einblicke in den Vorgang der Kaltverstreckung, bei der bekanntlich während des Verstreckungsprozesses verstreckte und unverstreckte Bereiche koexistent sind. Die maßgebende Verformung der Probe geschieht in der Fließzone, deren Temperatur aus der zur Verstreckung notwendigen Verformungsleistung bis kurz über das Erweichungsintervall erhöht wird.

**P. Brauer** (Mosbach) und **F. H. Müller** (Marburg/Lahn): Nachweis einer Temperaturerhöhung in der Fließgrenze bei der Kaltver Streckung. (Mit Demonstration.) (Vorgetragen von P. Brauer.)

Die Temperaturerhöhung in der Fließgrenze bei der Kaltver Streckung (s. den Vortrag von K. Jäckel, Marburg/Lahn) wird dadurch nachgewiesen, daß ein Leuchtstoff, dessen Wirkungsgrad eine geeignete Temperaturabhängigkeit besitzt (z. B.  $\text{CaWO}_4 \cdot \text{U}$ ) auf die Probe (z. B. Polyamid) aufgebracht wird. Die beim Kaltver Strecken durch die Probe wandernde Zone hoher Temperatur kann dann gesehen, photographiert (gefilmt) und ausgemessen werden. Man kann aber auch einen Leuchtstoff oder ein Leuchtstoffgemisch mit temperaturabhängiger Farbe verwenden: dann kennzeichnet sich die wandernde Zone hoher Temperatur durch eine andere Farbe der Lumineszenz. In dieser Weise wird der Effekt an Polyamid mittels aufgetragenen  $\text{ZnS} \cdot \text{Zn-Mn}$  demonstriert.



## TIEFE TEMPERATUREN

Am 23. September 1953, nachmittags

Vorsitz: M. v. Laue (Berlin-Dahlem)

**G. U. Schubert** (Mainz): Zur phänomenologischen Theorie der Supraleitung.

a) Die von London für das ebene Problem „Stromübergang vom Normalleiter zum Supraleiter“ angegebene Lösung der Grundgleichungen wird mittels der Poisson'schen Summelformel näher untersucht. Vor allem wird der Brechungswinkel  $\alpha$  der Stromlinien an der Grenzfläche berechnet. Bis nahe zum Rand (Grenze gegen Vakuum) gilt  $\operatorname{tg} \alpha = \beta y$ , wenn  $\beta^{-1}$  die Eindringtiefe und  $y$  den Abstand von der Mittelebene (Symmetrieebene) bedeuten, d. h.  $\alpha$  wächst sehr rasch auf  $\pi/2$  an. Am Rande muß aber  $\alpha = 0$  sein. Die Übergangsschicht, innerhalb der  $\alpha$  von  $\pi/2$  auf 0 abfällt, ergibt sich von so kleiner Größenordnung (kleiner als der Bohr'sche Wasserstoffradius), daß die Londonsche lineare phänomenologische Theorie hier sicher nicht mehr gilt. Die Theorie bedarf einer Erweiterung, denn auch bei anders gestalteten Kontakten Normalleiter — Supraleiter treten derartig kleine Längen auf. Auf alle mathematischen Einzelheiten kann nicht eingegangen werden.

b) Es wird eine Integrodifferentialgleichung bzw. ein System von 2 simultanen Integralgleichungen angegeben, mit denen das Problem „Supraleiter im äußeren Magnetfeld“ durch Iteration behandelt werden soll.

**F. Beck** (Berlin): Über die Phasenumwandlung Normalleiter — Supraleiter.

**G. Joos und A. Klopfer** (München): Metalloptik bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs.

Die optischen Eigenschaften der Metalle sind bestimmt durch die optischen Übergänge zwischen den Energiebändern, für die strenge Auswahlregeln gelten, und durch die klassische Absorption freier Elektronen, die auch quantentheoretisch existiert. Bei wenig vom Gitter gestörten Elektronen (Fall der Alkalimetalle) ist dies sogar der Hauptanteil. Interessanter ist der ebenfalls noch durchsichtige Fall des Silbers. Frisch im Vakuum aufgedampfte Silberschichten wurden bei Temperaturen bis  $-253^\circ \text{C}$  sowohl in Absorption als auch in Reflexion gemessen. (Den flüssigen Wasserstoff verdanken wir dem Herrschinger Tieftemperatur-Institut der Bayer. Akad. d. Wiss., wofür Herrn Prof. Dr. Meißner wärmstens gedankt sei.)

Die Absorption durch Quantensprung müßte für  $T = 0$  an einer scharfen Grenze senkrecht einsetzen und von dort an ein breites Band geben. In der Tat ist das Einsetzen der Absorption nach der bekannten Absorptionslücke des Silbers bei  $3100 \text{ \AA}$  umso steiler, je tiefer die Temperatur ist. Die Extrapolation auf  $-273^\circ$  ergibt allerdings keine streng senkrechte Kurve. Die Absorption auf der langwelligen Seite der Lücke ist etwa 10mal größer als der Absorption durch freie Elektronen entspricht. Dafür ist nach Sommerfeld und Bethe eine gekoppelte Absorption (Elektronenenergie + Gitterschwingungsquant) maßgebend. Für diese ist die Temperaturabhängigkeit anders als für die „Quantensprungabsorption“. Nach der Theorie sollte für tiefe Temperaturen diese Absorption bei  $T = \Theta$  (für Ag  $-60^\circ \text{C}$ ) nicht mehr weiter steigen im Gegensatz zur Quantensprung-

absorption an der Kante. In der Tat ist bei  $-253^{\circ}$  kein Unterschied gegen  $-183^{\circ}$  festzustellen und inzwischen verfeinerte Messungen geben  $\Theta$  auf  $\pm 10^{\circ}$  genau.

**M. Näbauer** (Herrsching): Herstellung von Blei-Einkristallen in Hohlzylinderform und Bewicklung derselben mit supraleitenden Drähten.

Es wurde über die Herstellung eines Bleieinkristalls in Hohlzylinderform berichtet, der für Messungen der magnetischen Eindringtiefe bei supraleitendem Blei und deren Anhängigkeit vom Magnetfeld verwendet werden soll. Ein massiver Bleieinkristall wurde durch Ausbohren und Abdrehen in Hohlzylinderform gebracht. Während der mechanischen Bearbeitung wurde er mit flüssiger Luft gekühlt, um Deformationen möglichst zu vermeiden. Eine dünne, deformierte, kristalline Schicht an der Oberfläche wurde durch elektrolytisches Polieren abgetragen, bis der ungestörte Kristall wieder zum Vorschein kam. Der Außendurchmesser des so hergestellten Hohlzylinders war 48,2 mm, sein Innendurchmesser 45 mm, seine Höhe 80 mm. Weiterhin wurde über Konstruktion und Bau einer Ringwickelmaschine berichtet, die von den üblichen Bauarten abweicht und die zur toroidförmigen Bewicklung des Bleihohlzylinders verwendet wird. Abschließend wurden Widerstandsmessungen an Kupfer- und Platindrähten mitgeteilt, die mit einer dünnen Wismut-Blei-Zinn-Legierung überzogen sind. Es wurde der Widerstand bei  $7,2^{\circ}\text{K}$  (Bleisprungpunkt) ohne Magnetfeld und bei  $4,2^{\circ}\text{K}$  in Abhängigkeit vom Magnetfeld gemessen. Die Drähte zeigen einen starken Widerstandsabfall in unmittelbarer Nähe des Bleisprungpunktes, jedoch bleibt in manchen Fällen ein geringer Restwiderstand bestehen.

**W. Buckel, R. Hilsch und W. Rühl** (Göttingen): Zur Struktur von Metallschichten und ihre Supraleitung. (Vorgetragen von R. Hilsch.)

Debye-Scherrer-Aufnahmen (W. Rühl) und Elektronenbeugungsdiagramme (W. Buckel) an Metallschichten werden unmittelbar nach der Kondensation bei He- und  $\text{H}_2$ -Temperaturen mit besonders entwickelten Apparaturen gewonnen. Reines Sn ergibt auch bei tiefster Temperatur kristallinen Zustand. Mit gleichzeitiger Kondensation von Zusätzen (z. B. Cu) läßt sich ein „feinkristalliner Zustand“ erzeugen, der flüssigkeitsähnliche Ringe liefert. Er ist mit dem schon früher mitgeteilten anomal hohen Sprungpunkt der Supraleitung ( $7^{\circ}\text{K}$ ) gekoppelt.

Wismut entsteht bei tiefer Temperatur auch ohne Zusatz in supraleitender Form (Sp.  $6,0^{\circ}\text{K}$ ); ebenso Gallium mit dem anomalen Sp. bei  $8,4^{\circ}\text{K}$ . In diesen Fällen wird als Ursache ebenfalls ein schlechter Ordnungszustand gefunden. Er kann durch Aufwärmen bei definierter Temperatur verschwinden. Mit der eintretenden Kristallisation verschwinden gleichzeitig die anomalen elektrischen Eigenschaften. Ga zeigt dabei in einem Zwischengebiet eine neue Kristallstruktur. Aus diesen Versuchen folgt eindeutig, daß für die Supraleitung ein guter Kristallzustand keine notwendige Bedingung ist.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, daß die Untersuchung von „abgeschreckt“ kondensierten Salzsichten die obigen Ergebnisse wertvoll unterstützen kann. F. Fischer hat in einer noch laufenden Dissertation 1952 gezeigt, daß z. B. KJ grundlegend im Gitteraufbau gestört werden kann. Statt der normalen 1. Bande der opt. Eigenabsorption tritt eine ins Langwellige verschobene auf ( $223$  statt  $214\text{ m}\mu$  bei  $20^{\circ}\text{K}$ ). Als kristallisationsbehindernder Zusatz hat sich in diesem Falle KF bewährt.



## VAKUUM

I. Am 20. September 1953, nachmittags

Vorsitz: W. Pupp (Wetzlar)

**R. Jaeckel** (Bonn), **H. G. Nöller** (Köln) und **H. Kutscher** (Bonn): Die physikalischen Vorgänge in Diffusions- und Dampfstrahlpumpen.

Teil I: Modell-Vorstellungen und charakteristische Daten. (Vorgetragen von R. Jaeckel.)

Sowohl Diffusionspumpen als auch Dampfstrahlpumpen sind aufgebaut aus einem Verdampfer (meist für Quecksilber oder organische Treibmittel), einer Treibdüse zur Beschleunigung der Dampfströmung und einem Raum zur Durchmischung von Treibdampf und angesaugtem Gas. Die bei der Dampfstrahlpumpe anschließende Staudüse hat bei der Diffusionspumpe nur noch die Funktion eines einfachen Kondensators für das Treibmittel. Es wird gezeigt, welche Schlüsse aus einfachen Modellvorstellungen über die Arbeitsweise der Pumpen für die charakteristischen Daten gezogen werden können.

Bei der Diffusionspumpe ist der Dampfdruck im Siedegefäß verhältnismäßig klein; daher liegt der Arbeitsbereich dieser Pumpen bei niedrigen Drucken. Der Ansaugdruck ist klein gegen den Dampfdruck an der Mündung der Treibdüse. Die Form des sich ausbreitenden Treibdampfstrahls ist weitgehend unabhängig vom Ansaugdruck. Die Durchmischung beider erfolgt durch vollständige Diffusion des angesaugten Gases bis in den Kern des Treibdampfstrahls hinein. Die Sauggeschwindigkeit ( $l/sec$ ) ist über viele Zehnerpotenzen konstant, d. h. unabhängig vom Ansaugdruck.

Der Arbeitsbereich der Dampfstrahlpumpen mit höheren Dampfdrucken im Siedegefäß liegt bei höheren Drucken, bei denen die Durchmischung von angesaugtem Gas und Treibdampfstrahl nur in eine dünne Randschicht des Strahles hinein erfolgt. Dabei ist der Ansaugdruck nicht mehr klein gegen den Dampfdruck in der Mündung der Treibdüse, die Strahlform ist also abhängig vom Ansaugdruck. Der Verlauf des Strahles relativ zur Staudüse (durch den Ansaugdruck erklärt) bedingt, daß die Kurve für die Sauggeschwindigkeit ( $l/sec$ ) nur ein schmales Maximum zeigt.

Der Treibdampfdruck zwischen Treibdüsenmündung und Vorvakuumraum, der bei der Diffusionspumpe in erster Näherung als quasi konstant angenommen werden kann, bedingt, daß das Endvakuum durch die Rückdiffusion aus dem Vorvakuum beeinflusst wird, und daß unter sonst gleichen Bedingungen Vorvakuumdruck und Endvakuumdruck einander proportional sind. Bei der Dampfstrahlpumpe erfolgt der Druckanstieg in der Staudüse in unstetigen Verdichtungsstößen unter Ruhedruckverlust. Das Endvakuum ist in diesem Falle vom Vorvakuum unabhängig.

Früher vorgetragene Modell-Vorstellungen des Verf. werden exemplifiziert auf neuere Messungen anderer Autoren bezüglich des Ho-Faktors, der Sauggeschwindigkeit in Abhängigkeit von Gasart und Vorvakuumdruck und der Unterscheidung zwischen eigentlicher Sauggeschwindigkeit und wirksamer Sauggeschwindigkeit der Pumpe in Nähe des Endvakuums.

Teil II: Modell-Vorstellungen über die Vorgänge in Dampfstrahlpumpen anhand von Strömungsbildern. (Vorgetragen von H. G. Nöller.)

Die Ausbreitung der Überschall-Strömung hinter der Treibdüse wird anhand von Strömungsbildern, die durch Anregung von Quecksilberdampf

mit hochfrequenten Spannungen erzeugt werden, untersucht. Bilder über die Ausbreitung der Dampfströmung nach dem Austritt aus der Treibdüse in Abhängigkeit von Kesseldruck und Umgebungsdruck werden verglichen mit gasdynamischen Betrachtungen. Wird ein dünner Draht durch den Strahl gefahren, so kann anhand des Entstehens von Verdichtungswellen beurteilt werden, in welchem Druckbereich die Gasdynamik noch anwendbar ist. Vergleich der Strahlablenkung beim Austritt aus der Treibdüse mit den aus der Gasdynamik bestimmten Charakteristiken ergibt, daß als Adiabatenexponent (unter diesen Bedingungen für Quecksilber) 1,67 einzusetzen ist. Laminare Durchmischung von angesaugtem Gas und Treibdampf (turbulente Durchmischung ist bei diesen niedrigen Drucken wegen Kleinheit der Reynold'schen Zahl nicht möglich) ergibt geringe Eindringtiefen. Es folgt, daß die Eindringtiefe proportional der Wurzel aus dem Diffusions-Koeffizienten ist. Hindernisse, die in den Strahl gebracht werden, lösen Verdichtungsstöße aus. In einer Staudüse bewirken Verdichtungsstöße Rückströmungserscheinungen, wie anhand der Strömungsbilder gezeigt wird.

Die charakteristischen Unterschiede der Saugleistungskurven bei Diffusionspumpen einerseits und Dampfstrahlpumpen andererseits werden anhand der vorher gezeigten Erscheinung über die Strahlausbreitung, die Eindringtiefe der abgesaugten Luft und das Entstehen von Verdichtungsstößen bezüglich ihres Verlaufs diskutiert. Die hierbei gebildeten Vorstellungen führen zum Verständnis der Vorgänge in der Pumpe im gesamten Ansaugdruckbereich und zwar sowohl für Diffusionspumpen als auch für Dampfstrahlpumpen.

Es zeigt sich, daß die im I. Vortrag von den Erscheinungen der Diffusionspumpe ausgehenden Modellvorstellungen sich zwanglos an die Modellvorstellungen des II. Vortrages im Anschluß an die Erscheinungen in den Dampfstrahlpumpen anschließen und daß beide Erscheinungsformen fließend ineinander übergehen.

Teil III: Quantitativer Verlauf der Strömungsvorgänge und ihre Bestimmung durch Sondenmessungen. (Vorgetragen von H. Kutscher.)

Zur quantitativen Untersuchung der Vorgänge in den Staudüsen, insbesondere von Öldampfstrahlpumpen, wurde eine Ausmessung der Strömung von Punkt zu Punkt mittels Sonden angewandt. Dies erwies sich insbesondere als notwendig, da eine Übertragung des im Teil II angewandten Verfahrens der Anregung der Quecksilberdampfströmung zum Selbstleuchten bei Öldämpfen auf Schwierigkeiten stieß. Drucksondenmessungen in der Mittellinie rotationssymmetrischer Überschallströmungen von gesättigtem Öldampf können mit einer spitzen Sonde durchgeführt werden, wenn die Sonde gegen Grenzschicht-Rückströmung durch Kühlung geschützt ist. Zur Vermeidung von Kondensation im Sonden-Innenen wird der Sondenkopf geheizt und die Messung mit Luftpolster durchgeführt. Es wird mit einer seitlich angebohrten Sonde der statische Druck gemessen und mit angebohrter Spitze der Pitot-Druck (Druck hinter einem geraden Verdichtungsstoß). Die Verfälschung der Messung des statischen Druckes durch Knall-Wellen, die durch die Sonde ausgelöst werden, wird mit Hilfe des Charakteristiken-Verfahrens und anhand von Strömungsbildern geprüft und zwischen 0,1 Torr und 5 Torr als unerheblich nachgewiesen. Durch Vergleich der Sondenmessungen mit Charakteristiken-Konstruktionen wird quantitativ die Anwendbarkeit der Gasdynamik auf die Staudüsenvorgänge nachgewiesen, die Strömung im gesamten Arbeitsbereich untersucht und Ort und Stärke von Verdichtungsstößen bestimmt. Schließlich gelingt es, durch Anregung des abgesaugten Gases zum Nachleuchten Farbenphotos

der Strömungsbilder, die auch Stärke und Lage der Verdichtungsstöße zeigen, zu erhalten und die gasdynamischen Berechnungen mit den so erhaltenen Strömungsbildern zu vergleichen. Es ergibt sich bei niedrigen Drucken Überschallströmung mit schrägen Stößen in der ganzen Staudüsenlänge, bei Druckerhöhung ein gerader Stoß am Staudüseneingang; bei weiterer Druckerhöhung erreicht der Strahl die Staudüse nicht mehr. Die Vorvakuumbeständigkeit kann aus der Geometrie der Anordnung ermittelt werden, indem die Expansion und daraus der Ruhedruckverlust im geraden Verdichtungsstoß bestimmt wird.

## II. Am 21. September 1953, nachmittags

Vorsitz: H. Ebert (Braunschweig)

**M. Drechsler und E. Heß** (Berlin-Dahlem): Abschätzung extrem kleiner Drucke mit dem Feldelektronenmikroskop. (Vorgetragen von M. Drechsler.)

Die durch Heizen auf 3000 °K gereinigte Wolfram-Spitze eines Feldelektronenmikroskopes bedeckt sich beim Erkalten wieder mit einer Adsorptionsschicht. Die Zeit bis zur Ausbildung dieser im Emissionsbild sichtbaren Schicht ist abhängig von den Partialdrucken der Restgase und daher ein Maß für die Güte des Vakuums. Ausbildungszeiten definierter Adsorptionbilder werden im Bereich von  $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  Torr mit Ionisationsmanometern geeicht. Die Messungen zeigen, daß die Ausbildungszeiten von der Oberflächenfeldstärke bzw. vom Emissionsstrom abhängig sind. Nach einer Extrapolation können mit dem Feldelektronenmikroskop kleinste Drucke im Bereich von  $10^{-6}$  bis  $10^{-12}$  Torr und darunter quantitativ abgeschätzt werden. Darüber hinaus kann teilweise die vorherrschende Gasart ermittelt werden.

**E. Weißmann** (Mainz): Über ein neues Hochvakuum-Manometer.

Ein von H. Klumb angegebenes, auf dem Radiometerprinzip arbeitendes Hochvakuum-Manometer wurde auf Grund einer Theorie von Sophus Weber [MATH. PHYS. MEDDELSER 24, Nr. 4, 1947] diskutiert und in seiner Wirkungsweise beschrieben. Für den Bereich freie Weglänge sehr groß gegen die Manometerdimensionen ist das Gerät als absolutes Manometer verwendbar und von der Gasart unabhängig. Der Akkomodationskoeffizient beeinflusst die Meßgenauigkeit nicht, wie anhand von durch Gasdosierungen gewonnenen Eichkurven für verschiedene Gase gezeigt wurde. Meßbereich von  $10^{-2}$  Torr bis  $10^{-6}$  Torr.

Für den Bereich, in dem die mittlere freie Weglänge vergleichbar oder kleiner als die Manometerdimension wird, ergaben die Messungen, daß die Radiometerkraft von der Gasart abhängig wird und die Eichkurve ein Maximum aufweist ( $10^{-1}$  bis  $10^{-2}$  Torr).

Die maximale Radiometerkraft wird für Gase mit großem gaskinetischem Wirkungsquerschnitt kleiner. Aus dem Experiment ergab sich, daß das Produkt aus maximaler Radiometerkraft und dem Wirkungsquerschnitt für alle Gase denselben Wert hat. Hierdurch ist eine einfache Relativmessung des gaskinetischen Wirkungsquerschnittes möglich.

**L. Hiesinger** (Hanau): Über ein technisches Vakuummeter nach dem Radiometer-Prinzip.

Es wurde ein technisches Vakuummeter nach H. Klumb beschrieben. Das rotations-symmetrische Meßsystem, eine leichte Turbine in Spannband-



Aufhängung, läßt eine gute Stabilität des Nullpunktes erreichen, die für Messungen an mit Öl-Diffusions-Pumpen betriebenen Metall-Apparaturen bis  $5 \times 10^{-6}$  Torr ausreicht. Das Lichtmarken-Instrument ist unempfindlich gegen Luftleinbrüche und Erschütterungen.

Der Heizer besitzt kleine Wärmekapazität, so daß sich bei Druckänderungen die Endtemperatur verhältnismäßig rasch einstellt. Es wurde gefunden, daß der Druck, bei dem die Radiometerkraft ihr Maximum erreicht, unabhängig von der Heiztemperatur und vom Meßsystem, bei allen bisher gebauten Instrumenten der gleiche ist.

Die Radiometerkraft selbst ist aber von der Heizertemperatur abhängig, sodaß Schwankungen vermieden werden müssen. Dafür reicht ein magnetischer Konstanthalter aus. Man kann also den Heizstrom so einregulieren, daß beim Druck der maximalen Radiometerkraft die Lichtmarke auf eine nur von der Gasart abhängige Eichmarke einspielt.

Im praktischen Betrieb hat man eine laufende Kontrolle des Nullpunktes durch die Anzeige in geflutetem Zustand und der Eichung durch den Maximalausschlag, der während des Auspumpens erreicht wird. Das Vakuummeter mißt im Druckbereich um  $10^{-1}$  Torr mit sehr hoher Empfindlichkeit für kleine Druckänderungen. Im Hochvakuum-Ast der Eichkurve unter  $5 \times 10^{-3}$  Torr ist die Druckanzeige linear und unabhängig von der Gasart.

Eine präzise Eichung erfolgt nach dem umgekehrten MacLeod'schen Meßprinzip. Eine Fernanzeige wird durch Abtastung des Lichtzeigers auf einer CdS-Zelle geeigneter Konstruktion möglich.

**H. Gruber** (Hanau): Die Verwendung von Heißleiter-Widerständen in technischen Vakuummeßgeräten.

Von Kretschmann (1951) und von Degenhardt (1952) wurde vorgeschlagen, die sogenannten NTC-Widerstände („Negative Temperature Coefficient“) von Philips als Druckindikatoren in Pirani-Manometern zu verwenden. Der technischen Verwendung solcher Heißleiter-Pirani-Manometer stehen die großen Fertigungstoleranzen sämtlicher physikalischer Daten, sowie die Raumtemperaturabhängigkeit der Druckanzeige entgegen. Es wurde gezeigt, wie man durch geeignete Kombination von Heiß- und Kaltleiterwiderständen diese störenden Effekte genügend beseitigen kann. Die Vorteile dieses neuen Vakuummeters (Druckbereich bei Verwendung handelsüblicher NTC-Widerstände  $10$  bis  $10^{-3}$  Torr, bei Verwendung von NTC-Widerständen mit geringer Wärmeableitung durch die Zuleitungen etwa  $3$  bis  $5 \times 10^{-4}$  Torr) gegenüber anderen Formen des Pirani-Manometers und des thermoelektrischen Vakuummeters sind: (1) praktisch keine Alterung; (2) kurze Ansprechzeit; (3) geringer Leistungsbedarf; (4) günstige Anpassung an den Druckbereich handelsüblicher Vorpumpen.

Die Verwendung besonders dimensionierter, hochohmiger NTC-Widerstände in Verbindung mit einem Röhrenverstärker ergibt ein einfaches, robustes Lecksuchgerät, das nach der Testgasmethode mit  $H_2$ , Leuchtgas oder Kohlenwasserstoffen arbeitet. Bei dem gegenwärtigen Entwicklungsstand spricht das Gerät bei  $10^{-3}$  Torr auf  $H_2$  Konzentrationen von etwa  $1\%$  bereits an, das entspricht einem  $H_2$  Partialdruck von  $10^{-5}$  Torr bei  $10^{-3}$  Torr Gesamtdruck im Rezipienten. Damit können praktisch alle Lecks gefunden werden, die das Endvakuum einer technischen Vakuumanlage verschlechtern; es läßt sich vielleicht noch eine Empfindlichkeitssteigerung um den Faktor  $10$  bis  $100$  erreichen, was sich vor allem günstig auf die Lecksuchzeiten auswirken würde.

**G. Dobke und B. Schröder** (Berlin): Die Anwendung des Ionisationsmanometers für die Messung von periodischen Druckschwankungen und schnellen Druckänderungen. (Vorgetragen von G. Dobke.)

Die Meßwerte eines Ionisationsmanometers (Ionenstrom  $J^+$  in Abhängigkeit vom Elektronenstrom  $J^-$ ) ergeben in rechtwinkligen Koordinaten gerade Linien durch den Nullpunkt, deren Neigung proportional zum Gasdruck ist. Für das Entstehen linearer Kennlinien in großen Druckbereichen lassen sich die Bedingungen angeben, die an den Bau des Ionisationsmanometers zu stellen sind. Für die direkte und trägheitsfreie Darstellung dieser Kennlinien mittels einer Braun'schen Röhre wird eine einfache Anordnung angegeben. Die für diese Darstellung notwendige Variation des Elektronenstromes läßt sich durch Modulation des Heizstromes durchführen, sodaß die Neigung der entstehenden Kennlinien bei stationären Gasdrucken, z.B. für die Eichung, unmittelbar ausgemessen werden kann. Druckschwankungen, die synchron mit der Modulationsfrequenz verlaufen, ergeben auf dem Leuchtschirm stehende Lissajou-Figuren, deren zeitliche Zuordnung durch eingeprägte Zeitmarken erfolgen kann. Da jedem Punkt des Kennlinienfeldes ein bestimmter Druck zugeordnet ist, lassen sich photographisch registrierte einmalige Vorgänge ausmessen. Als Anwendung wird die Messung von Druckschwankungen im Hg-Dampf-Gleichrichter wiedergegeben. Für Manometer mit einem bestimmten Eigenvolumen, das über eine Öffnung mit dem Meßraum kommuniziert, werden die Rechnungsergebnisse, betreffend die Relaxationszeit, wiedergegeben.

**G. Reich** (Bonn): Über ein schreibendes Gerät zur selbsttätigen Messung kleiner Dampfdrucke unter  $10^{-1}$  Torr und kleiner Aufdampfgeschwindigkeiten.

Das von A. Herlet [PHYS. BL. 5, 523, 1949] beschriebene Verfahren beruht auf der Messung des Impulses und der Aufdampfgeschwindigkeit eines Molekularstrahles mit Hilfe einer Vakuum-Mikrowaage. Aus beiden Messungen läßt sich aufgrund der Hertz'schen Formel

$$G = (1/\sqrt{2\pi R}) \cdot \sqrt{M/T} \cdot p$$

das Molekulargewicht berechnen. Die Waage ist ein umgebautes Drehspul-Meßsystem. Die so für visuelle Ablesung bekannte Methode wurde durch automatische Aufzeichnung der Stellung bzw. Belastung der Waage auf einem Stromschreiber nach einem lichtelektrischen Kompensationsprinzip nach Art des Photozellen-Kompensators weiterentwickelt. Hierdurch wird die schwierige und große Geschicklichkeit erfordernde visuelle Ablesung der Stellung der Waage als Funktion der Zeit vermieden; außerdem vereinfacht sich die Auswertung wesentlich.

Die Anlage ermöglicht die Messung von Dampfdrucken von  $1 \times 10^{-1}$  bis etwa  $1 \times 10^{-6}$  Torr mit einer Genauigkeit von 5 bis 10 %. Das Molekulargewicht läßt sich mit einem Fehler von 5 bis 20 % bestimmen. Aus der Steigung der Dampfdruckkurve ergibt sich die Verdampfungswärme auf etwa 1 % genau. Die Anlage ist so ausgeführt, daß — wenn keine besonderen Schwierigkeiten vorliegen — die vollständige Kurve für die Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur einer Substanz an einem Tage durchgemessen und ausgewertet werden kann.

**W. Kluge und S. Weber** (Stuttgart): Das Verhalten von Photokathoden bei Impulsbestrahlung. (Vorgetragen von W. Kluge.)

Das bekannte Verfahren, von Oxyd-Glühkathoden kurzzeitig starke Emissionsströme abzuführen, wird auf moderne Photokathoden der Schichtentypen Ag—Cs<sub>2</sub>O—Cs und Sb—Cs angewandt. Die Photozelle wird



zu diesem Zwecke mit kurzen Lichtimpulsen eines Hochleistungs-Stroboskopes (Impulsdauer  $20 \times 10^{-6}$  sec) bestrahlt und die Impulsströme oszillographisch gemessen. Bei Bestrahlung mit einmaligen Impulsen wird keine Abweichung vom photoelektrischen Proportionalitätsgesetz bis zu  $10^7$  Lux festgestellt, wobei über 6 Größenordnungen hinweg beobachtet wurde. Die Strom-Spannungs-Kennlinien sind denen einer Diode ähnlich. Sie zeigen bei hohen Stromdichten — es wurden Sättigungswerte bis zu  $50 \text{ mA/cm}^2$  erreicht — im Raumladungsgebiet die charakteristische  $U^{3/2}$ -Krümmung. Bei Bestrahlung mit periodischen Impulsen treten reversible Ermüdungen an der Photokathode auf, wenn der Gleichstrom-Mittelwert einen für jeden Kathodentyp charakteristischen kritischen Grenzwert  $j_{\text{krit}}$  überschreitet. Es läßt sich eine empirische Beziehung  $(Q \cdot f)_{\text{krit}} = j_{\text{krit}}$  aufstellen, wobei  $Q$  die pro  $\text{cm}^2$  und Impuls befreite Ladung,  $f$  die Impulsfolge-Frequenz darstellen. Die kritische Stromdichte  $j_{\text{krit}}$  weist dieselbe Größenordnung auf, wie sie von stationärer Kathodenbestrahlung her bekannt ist. Irreversible Ermüdungen der Photokathoden werden bei den bis jetzt realisierbaren Bestrahlungsstärken und Impulsfolge-Frequenzen noch nicht beobachtet. —

Die aufgezeigte Impulsmethode wird voraussichtlich eine genauere Untersuchung des Halbleitergeschehens in den Kathoden-Zwischenschichten ermöglichen, welche bei der bisher üblichen stationären Bestrahlung mit Sicherheit durch die irreversiblen Ermüdungen unmöglich gemacht ist.

### III. Am 23. September 1953, nachmittags

Vorsitz: M. Auwärter (Balzers/Liechtenstein)

#### W. Scheibe (Hanau): Industrielle Hochvakuumöfen.

Es werden anhand von 12 Diapositiven bereits ausgeführte und in Betrieb befindliche Hochvakuumöfen gezeigt und auf deren konstruktive Besonderheiten eingegangen.

#### W. Hänlein (Rathsberg/Erlangen): Hochvakuumöfen mit Widerstandsheizung.

Die Durchführung thermischer Prozesse im Hochvakuum, wie Schmelzen, Sintern und Vorbehandeln von Vakuum-Werkstoffen macht den Bau von Hochvakuumöfen notwendig. Die zur Verfügung stehenden Methoden zur Erzeugung hoher Temperaturen im Hochvakuum sind: (1) die Lichtbogen-erhitzung; (2) die induktive und die elektrische Erhitzung; (3) die Widerstandsbeheizung.

In vielen Fällen ist man bei der Erzeugung definierter Temperaturverhältnisse auf die Widerstandsbeheizung angewiesen. Es wurden die allgemeinen Gesichtspunkte für den Bau von widerstandsbeheizten Hochvakuumöfen besprochen. Erforderlich sind: (1) Geeignete Heizleiterwerkstoffe; (2) zweckentsprechend durchgebildete Ofengehäuse; (3) eine thermische Isolation mit möglichst geringer Gasabgabe; (4) ausreichend dimensionierte Vakuumpumpensätze; (5) Lecksucheinrichtungen genügender Empfindlichkeit; (6) zuverlässige Vakuum Meßeinrichtungen; (7) gut regelbare Ofentransformatoren und Schaltanlagen.

Nach eingehender Diskussion der vorhandenen Werkstoffe und Konstruktionsmethoden werden diese an einigen ausgeführten Anlagen erläutert.

#### M. Auwärter (Balzers/Liechtenstein): Erscheinungen beim Aufdampfen dünner Schichten.

Die Effekte, welche beim Verdampfen von Substanzen im Hochvakuum und ihrer darauf folgenden Kondensation eintreten, lassen sich in 3 Ab-



schnitte teilen: (1) Der Verdampfungsprozeß als solcher, bei dem Reaktion zwischen Substanz und Tiegelwandung des Verdampfers eintreten können; (2) Vorgänge an der Kondensationsoberfläche, die wegen der außerordentlich starken Abhängigkeit der Kondensation von der Oberflächenspannung und der Bekeimung beobachtet werden; und (3) die physikalischen und chemischen Vorgänge, die sich während der Verweilzeit der Atome bzw. Moleküle im Evakuierungsraum abspielen.

Die Vorgänge der 3. Gruppe werden durch nachfolgende Untersuchungen geprüft. In einem gemeinsamen Vakuumgefäß sind zwei Kondensationsflächen in Glasröhren angeordnet, von denen die eine offen, die andere geschlossen ist. Vor jeder Kondensationsfläche befindet sich eine Lochblende, der die Verdampfungsquelle gegenübersteht. Die zu verdampfende Substanz ist Silber. Neben der Abbildung der Lochblende werden auf der Kondensationsfläche Streubilder in Abhängigkeit vom Druck beobachtet. In der Glasröhre mit geschlossenem Boden sind die Streubilder mit zunehmendem Druck größer als in der offenen Röhre. Bei Vakuis unterhalb  $3 \times 10^{-5}$  Torr fallen die Kurven praktisch zusammen. Wir schließen daraus, daß der Silber-Atomstrahl die Fähigkeit hat, durch Zusammenstöße mit dem Restgas eine Kompression desselben am Gefäßboden zu erzielen.

Eine bessere Analyse bieten Versuche mit einer gegen die Kondensationsfläche schräg gestellten Schlitzblende. Die Orte gleicher Schichtdicke der Streubilder sind Geraden. In Abhängigkeit vom Gasdruck ergibt sich eine Formel:  $dZ = -(1/c) Z ds$ , wo  $Z$  die mittlere Stoßzahl der Ag-Atome auf einem Weg  $s$  und  $c$  eine Konstante proportional der Schlitzbreite bedeutet. Dieses Ergebnis läßt darauf schließen, daß während des Aufdampfens neben Zusammenstoßen mit den restlichen Gasatomen auch solche zwischen Silber-Atomen in namhafter Menge auftreten. Dies ist, bezogen auf die Zahl der Silber-Atome, umso häufiger der Fall, je weiter die Silber-Atome von der Verdampfungsquelle entfernt sind.

**H. Boersch und K.-J. Hanßen** (Braunschweig): Lochkamera-Abbildungen von Metалldampfquellen. (Vorgetragen von K.-J. Hanßen.)

Es wurden Lochkamera-Abbildungen mit dem Metалldampf als abbildendem Medium selbst durchgeführt. Wenn Metallperlen von Drähten verdampft werden, so tritt bei Benetzung des Drahtes durch das verdampfende Metall u. U. eine stärkere Verdampfung vom Draht aus statt von der Metallperle aus ein. Auch die Ausbildung von Metалldampfwolken durch Mehrfachstöße konnte durch Abbildung unmittelbar demonstriert werden.

**A. P. Weber** (Berlin): Über den Wasserstoff-Palladium- und den Halogen-Lecksucher als Hilfsmittel der Fertigung von Hochvakuumröhren.

Da der nach dem massenspektrometrischen Prinzip arbeitende Helium-Lecksucher in Deutschland mangels des benötigten Heliums nicht anwendbar ist, wurden zwei andere, spezifisch auf ein Testgas ansprechende Lecksuchverfahren erprobt. Das mit der Wasserstoffdiffusion durch Palladium arbeitende Verfahren wurde von G. Strotzer sehr eingehend untersucht. Wenn auch die Ansprechempfindlichkeit durch Verbesserungen des Druckindikators erheblich gesteigert werden konnte, so hat sich dieses Verfahren doch als unbrauchbar für die technische Anwendung erwiesen. Sehr befriedigende Ergebnisse wurden dagegen mit dem Halogen-Lecksucher erzielt, der mit der spezifisch auf halogenhaltiges Gas ansprechenden Glühionemission arbeitet. Die erreichte Empfindlichkeit ( $10^{-9}$  Torr · Liter/sec Druckanstieg) entspricht etwa der des Helium-Lecksuchers. Über ein für den

praktischen Gebrauch entwickeltes und verbessertes Gerät, über dessen Handhabung und die damit gemachten Erfahrungen, insbesondere über eine bisher nicht beschriebene Art von Lecks, deren Vorhandensein die Undichtigkeitsprüfung erschwert, wird berichtet.

**K. Ziock (Köln):** Über Erfahrungen mit verschiedenen Lecksuchverfahren und Geräten.

Die Ansprechempfindlichkeit eines Lecksuchers wird definiert als der kleinste mit dem Gerät noch nachweisbare Testgaspartialdruck. Die kleinste mit einem Lecksucher noch nachweisbare Undichtigkeit hängt dagegen auch von dem Volumen der Apparatur, der Saugleistung der angeschlossenen Pumpen und der Besprühzeit ab. Die günstigsten Ergebnisse werden erzielt, wenn der Lecksucher an der Vorvakuumseite einer Diffusionspumpe mit möglichst großer Saugleistung angeschlossen wird.

Von der Gasart abhängige Vakuummeter können nur zum Auffinden verhältnismäßig grober Undichtigkeiten verwendet werden. — Der Lecksucher nach der Palladium-Wasserstoff-Methode ist für technische Zwecke nicht brauchbar, da er nur bei sehr niedrigen Sauerstoffpartialdrücken arbeitet. — Ein auf der Ionenemission von glühendem Platin bei Gegenwart von Halogenen beruhender Lecksucher hat sich als sehr zuverlässiges und hochempfindliches Gerät erwiesen. Die Empfindlichkeit des Halogen-Platin-Lecksuchers ist zwar nicht so hoch wie die eines mit Helium als Testgas arbeitenden Massenspektrometers; im praktischen Gebrauch macht sich dieser Unterschied jedoch kaum bemerkbar, da das Massenspektrometer nur bei sehr niedrigen Drücken arbeitet und daher im allgemeinen über eine Drosselstelle angeschlossen werden muß, welche die Empfindlichkeit herabsetzt.

Kleinste unter verschiedenen Bedingungen mit den üblichen Lecksuchgeräten noch nachweisbare Undichtigkeit gemessen in Torr · l/sec, Besprühzeit 1 sec:

V = 200 l

Lecksucher angeschlossen an der	Pumpgeschw. in l/sec	Thermoel.-Vakuum- meter mit Wasserst.	Ionisations-Mano- meter mit Wasserst.	Halogen- Lecksucher
Hochvakuumseite	400	$2 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-6}$
Vorvakuumseite	15	$1,5 \times 10^{-2}$	—	$1,5 \times 10^{-7}$
V = 25 000 l				
Hochvakuumseite	10 000	30	$3 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-4}$
Vorvakuumseite	150	$5 \times 10^{-1}$	—	$5 \times 10^{-6}$

(Redaktionsschluß am 11. November 1953)